Agriculture
Canada

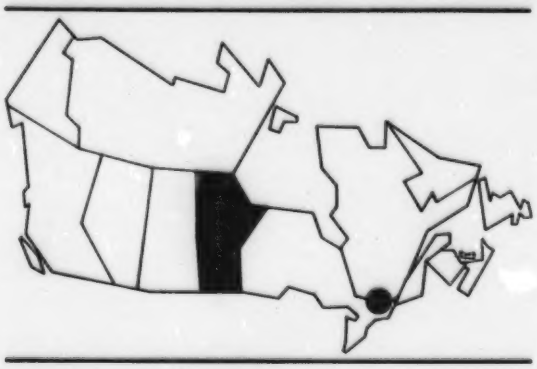
Publication 1700 /E

HEATED-AIR GRAIN DRYERS

Canada

103-00399/

A FEDERAL/PROVINCIAL PUBLICATION



CANADA/MANITOBA

HEATED-AIR GRAIN DRYERS

O.H. FRIESEN, Agricultural Engineer,
Manitoba Agriculture,
Winnipeg, Manitoba.

This publication was originally produced by the Manitoba Agriculture. Under the provisions of the Federal-Provincial Regional Cooperative Publishing program, Agriculture Canada has agreed to print this publication.

PUBLICATION 1700/E, available from
Communications Branch, Agriculture Canada,
Ottawa K1A 0C7

©Minister of Supply and Services Canada 1982
Cat. No. A53-1700/1982E ISBN: 0-662-12024-8
Printed 1980 Reprinted 1987 10M-11:87

Également disponible en français sous le titre
Séchoirs à grains à air chaud.

Contents

Advantages of grain drying 3

Grain moisture relationships 4

- Maximum storage times for damp grain 4
- Maximum storage moisture contents 4
- Moisture migration 4
- Moisture testers 4
- Moisture rebound 6

Weather effects on drying 6

- Relative humidity 6
- Wind and sun 6
- Ambient air temperatures 7

Maximum drying temperatures 7

- Temperature sensing 7
- Testing for heat damage 8

Grain-handling systems for dryers 8

Dryer types 9

- Bin dryers 10
  - Batch-in-bin process 10
  - Overhead drying floors 12
  - Stirring augers 12
  - Recirculating and continuous-flow devices 12
- Portable dryers 13
  - Batch dryers 13
    - Non-recirculating type 14
    - Recirculating type 15
  - Continuous-flow dryers 15

Multistage drying 17

- Dryeration 17
- Combination drying 18

Aeration 18

Drying rates and efficiencies 18

- Dryer capacities 19
- Dryer efficiencies and costs 20

Fires in dryers 20

Appendix 22

Acknowledgments 25

HEATED-AIR GRAIN DRYERS

This publication discusses the principles and problems of heated-air grain drying, and the characteristics of common types of grain dryers. It does not give specific operating instructions for different makes and models of dryers. Operating instructions and information on specific control and safety features are contained in the operator's manual. Read the manual carefully, and make sure the dryer meets all required federal and provincial safety standards. The dryer should have either Canadian Standards Association (CSA) or Canadian Gas Association (CGA) approval, or a special acceptance from your provincial department of labor.

ADVANTAGES OF GRAIN DRYING

Grain drying has become more common across the Canadian prairies. Instead of drying only during very wet harvest seasons, many farmers now use a dryer as part of their normal grain-harvesting system. There are a number of advantages to doing this:

Longer Harvest Season—Extra hours of harvesting in the morning and evening of each day and several extra harvest days each year are possible when a grain dryer is used. The number of available harvesting hours is increased substantially in most areas, which could reduce the overall investment in machinery. A smaller combine plus a dryer could be used instead of buying a second combine or trading up to a large one. For a farmer relying on custom harvesting, a grain dryer can be helpful in getting his harvesting done early. In any case, every combine can be used to harvest more grain if a dryer is included in the harvesting system.

Earlier Harvesting—Earlier harvesting is possible when a grain dryer is used. Wheat, oats and barley can be threshed at 20% moisture content (MC) and then dried without loss of quality, grade or germination. When compared with harvesting at 14%, there may be a difference of only 1 or 2 days in mid-August, but by mid-September it may be 4 days or more. If a wet spell occurs, the differences could be much greater. Early harvesting may allow a farmer to harvest nearer to the maximum 'dry' moisture content, which results in the highest weight of grain for sale. Harvesting early also allows a farmer to do a better job of weed control through timely chemical application and tillage practices.

Reduced Field Losses—Weather damage and losses caused by wildlife can be reduced by harvesting at the tough[1] or damp[2] stages. A loss of one grade may mean a 5% loss in price and a 5% loss in weight, for a total loss of 10%. Harvesting before, instead of after, a rainy spell can therefore result in a considerable saving. Overdrying of crops in the field, which leads to shattering and crop loss, can also be prevented by earlier harvesting. Straight combining of some crops, such as sunflowers and corn, is a necessity and if these crops are harvested damp, field losses are greatly reduced. A dryer in the system may also make it feasible to straight combine other crops. Replacing a windrower with a dryer is therefore an alternative that should be considered.

Eliminate Spoilage in Storage—When tough or damp grain is harvested and not dried, long-term storage frequently results in grain spoilage. Moisture migration within grain bins can make slightly tough or even dry grain unsuitable for storage. Spoilage problems caused by hot spots and insect infestations can be reduced or eliminated by proper drying and aeration in storage.

The initial cost of a grain dryer is one of the major deterrents to grain drying. Where only small amounts of grain are to be dried each year, the initial cost of the dryer should be a primary consideration (see *Drying Costs*). Where large amounts of grain are dried, fuel efficiency becomes a more important factor.

The labor and inconvenience of drying are also deterrents on many farms where no centralized grain-storage facility exists. To obtain maximum benefits from a grain dryer, it is necessary to set up a well-organized system for grain handling and storage.

Because of climatic variations, not all areas have the same need for grain dryers. Figure 1 shows prairie areas of equal net evaporation for the month of September. This is based on long-term data obtained from the Atmospheric Environment Service, Environment Canada. Values for individual years may vary slightly from the long-term averages. The physical features of an area, such as lakes, hills and woods, may also cause notable variations from the general pattern. In general, however, the need for grain drying on the prairies increases from the southwest to the northeast. In the driest areas, a dryer may be needed only 1 year in 10 for wheat, oats and barley, while in the northernmost areas it could be needed as often as 9 out of 10 years. If grain corn is grown for commercial sale, a dryer is essential in all areas. Sunflowers, rapeseed, and several other crops should also be harvested damp every year in order to minimize field and harvesting losses.

[1] Tough = MC values between those given in Table 1 and 17% for cereal grains or 13% for oilseeds
[2] Damp = MC above 17% for grains and above 13% for oilseeds

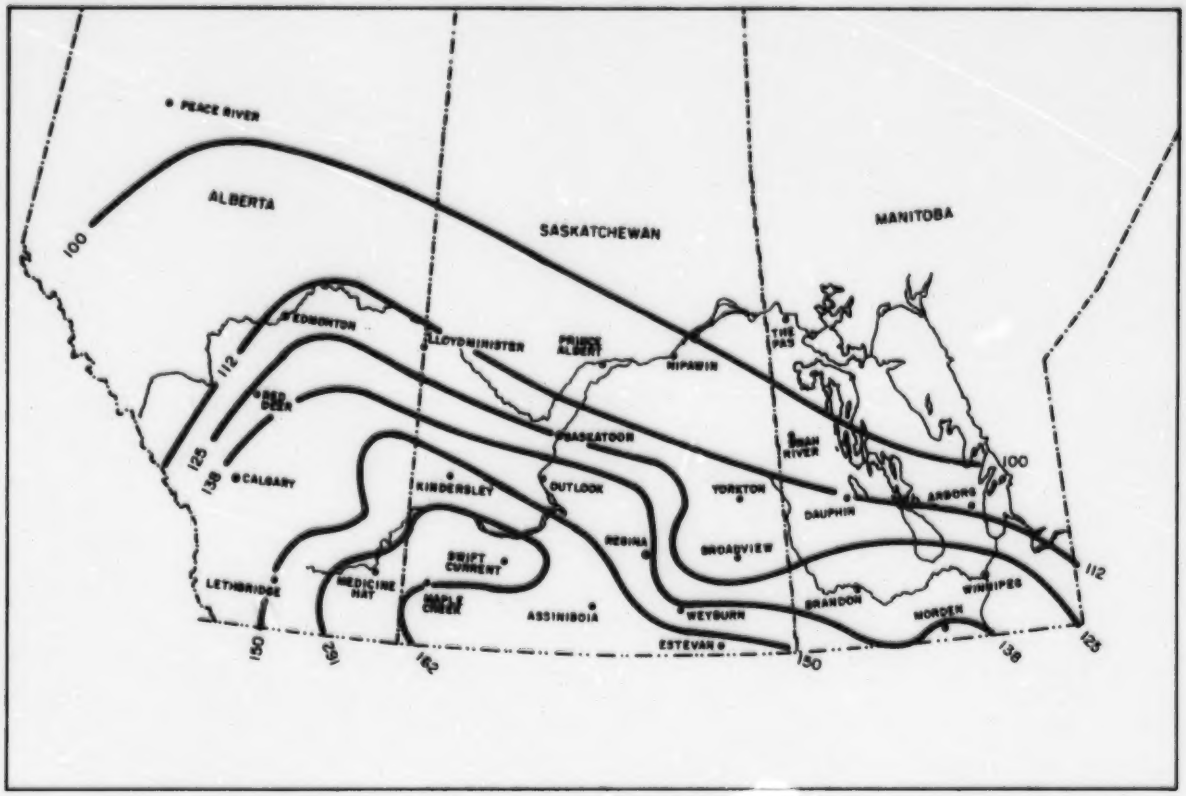


Figure 1. Long-term average net evaporation (mm) during September.

GRAIN MOISTURE RELATIONSHIPS

Maximum Storage Times for Damp Grain

The length of time that damp grain can be stored before drying depends on the grain temperature and moisture content. Figures 2, 3 and 4 give estimated allowable times for various crops and conditions. It should be noted that when heating starts, spoilage due to mold growth and insect infestation proceeds rapidly. Therefore, the temperature of damp grain must be monitored closely to ensure safe storage, even when air temperatures are well below 0°C.

Maximum Storage Moisture Contents

Maximum moisture contents for safe storage over the first winter are shown in Table 1.

Grain put into a bin on a hot day or grain containing green material could heat even at the moisture levels given in Table 1. Longer-term storage or processing of special crops may require lower moisture contents than those shown.

Moisture Migration

Grain that is placed in storage at or near the maximum 'safe' moisture content may develop localized high-moisture zones because of moisture migration. This is caused by changes in outdoor air temperatures which set up convection air currents in the bin (Figure 5). This may lead to grain spoilage near the top center of the bin in winter, or near the bottom center in summer. Moisture migration is more severe if the grain is hot when binned, and if the grain is stored in large bins. An aeration system can prevent these problems by maintaining a uniform temperature and moisture content throughout the bin. Any bin to be used for cooling grain or any bin of 100 m^3 or larger should be equipped with an aeration system (see *Aeration*).

Moisture Testers

There are various types of moisture testers on the market, with widely varying degrees of accuracy and repeatability. Some of them are reasonably accurate only near the 'dry' range and become progressively more inaccurate as the moisture content increases. Some are quite accurate for one type of grain and very inaccurate for others. A few are very accurate for most grains, and for a wide range of moisture contents. Detailed information on various testers is available from the Prairie Agricultural Machinery Institute, Humboldt, Sask., and the Canadian Grain Commission, Winnipeg, Man.

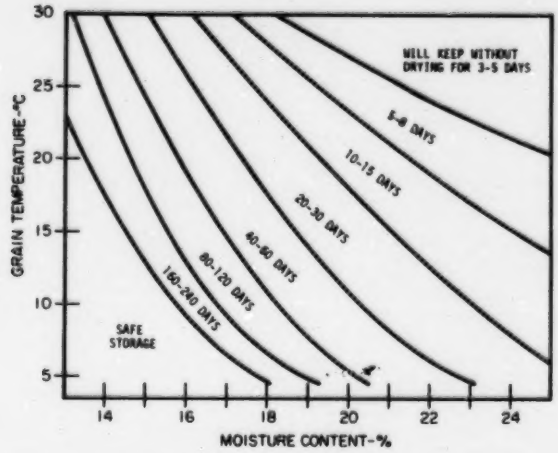


Figure 2. Effect of temperature and moisture content on allowable storage time of wheat, oats and barley.

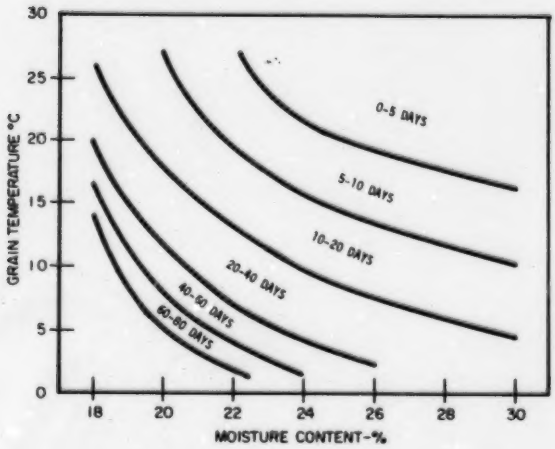


Figure 4. Effect of temperature and moisture content on allowable storage time of corn.

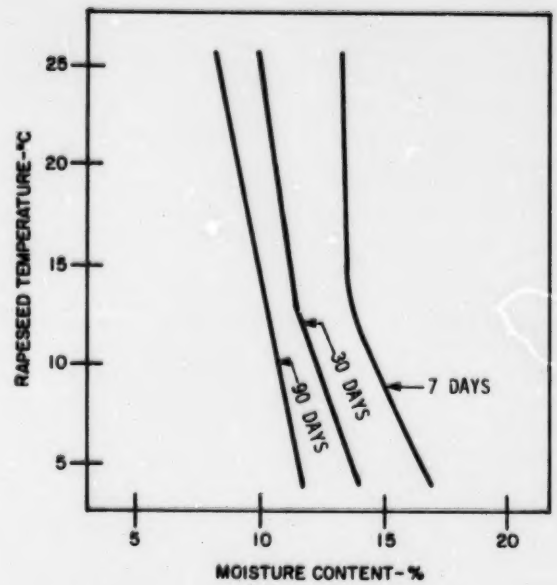
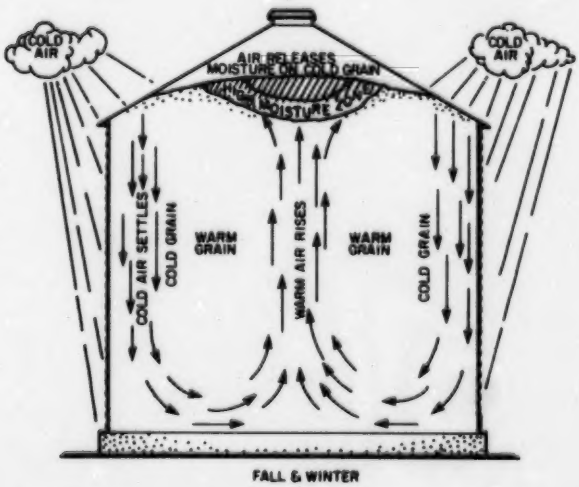


Figure 3. Effect of temperature and moisture content on allowable storage time of continuously ventilated rapeseed.



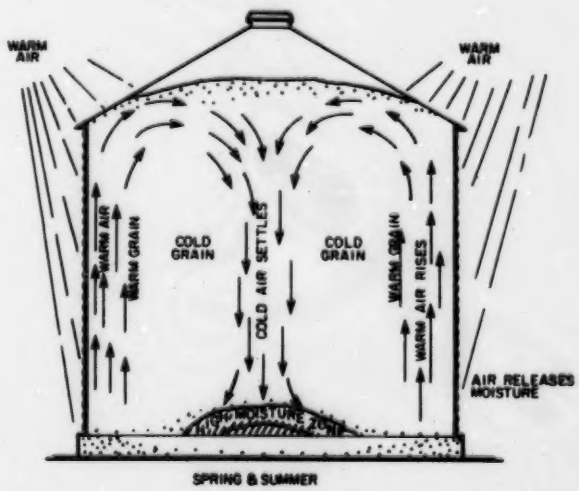


Figure 5. Moisture migration.

Moisture Rebound

When grain is dried rapidly (for example, a 6% drop in 2 hours or less) in a heated-air dryer, it is common to experience a moisture rebound. Grain coming out of the dryer may test dry, but after a few days of storage it may test 1% or even 1.5% higher. This is caused by the difference in moisture content within the grain kernels and the type of tester used. The outer part of the kernel dries faster and gives a lower moisture reading immediately after drying. When the moisture content becomes uniform, the tester will give a somewhat higher reading than it did earlier. Problems of this nature are usually solved by initially overdrying the grain by about 1%. Extreme care should be taken to not overdry the grain in total. The lower the moisture content, the more susceptible is the grain to heat damage. Also, overdrying requires more time and fuel, and results in an unnecessary loss in grain weight. Overdrying by 2% means a loss of 2.5% in weight and sale value.

When testing hot grain from a dryer, the sample should be placed immediately in a plastic bag to prevent moisture loss, and it should be allowed to cool to ambient temperature before testing.

WEATHER EFFECTS ON DRYING

Relative Humidity

Natural drying of grain occurs when the relative humidity (RH) of the air is below the equilibrium moisture content of the grain. When the relative humidity is above the equilibrium level, the grain takes on moisture. The approximate equilibrium moisture contents for cereal grains and oilseeds are given in Table 2.

If unheated air is used for drying, the RH of the air has a substantial effect on the drying rate. However, when air is heated the RH drops rapidly, and if the air is heated 30°C or more, the initial RH can be practically ignored. Air at 15°C and 100% RH, when heated to 65°C, will have only 7% RH. Even if 15°C air is heated to only 45°C, the RH will not be over 20%. Only when fairly high initial air temperatures (over 20°C) are combined with high RH and low drying temperatures (below 40°C) does the RH act as a noticeable deterrent to drying.

Wind and Sun

To understand the effects of wind and sun on grain drying, it is necessary to understand the operation of the dryer controls. With most continuous-flow dryers and batch dryers with automatic shut-offs, the drying time is regulated by a thermostat located near the outside of the grain column. When the grain temperature reaches the preset value, the unloading mechanism is started, or in a batch dryer the heat is shut off.

Unshielded thermostats located on the outside of a dryer can be affected by wind or sunshine. A cold wind blowing against the thermostat will delay its activation and, therefore, can cause overdrying at a setting that was previously satisfactory. In a

TABLE 1. MAXIMUM STORAGE MOISTURE CONTENTS

Wheat	14.5%	Rapeseed	8.5%
Barley	14.8	Corn	15.5
Oats	14.0	Peas	16.0
Rye	14.0	Sunflowers	9.5
Flax	10.5	Mustard	11.0
Buckwheat	16.0	Canary seed	12.0

TABLE 2. EQUILIBRIUM MOISTURE CONTENT OF CEREAL GRAINS AND OILSEEDS

Relative humidity of air	Cereal grains		Oilseeds	
	at 25°C	at 10°C	at 25°C	at 10°C
58%	12%	13%	7.5%	8.5%
65	13	14	8.4	9.4
71	14	15	9.3	10.3
76	15	16	10.2	11.2
80	16	17	11.2	12.2
83	17	18	12.2	13.2
85	18	19	13.2	14.2

two-column dryer, with each column controlled by its own thermostat, equal settings will result in one grain column moving faster than the other if a wind is blowing against one of them. This is often interpreted to mean that the windward side is drying much slower. However, this is not the case since the pressure created by the wind is insignificant compared with the pressure inside a dryer (dryers frequently operate at a static pressure of 750 — 1000 Pa whereas a 30 km/h wind creates a pressure of only 50 Pa). The column on the windward side can become seriously overdried as a result of the wind's effect on the thermostat, and grain damage is more likely. This can be prevented by (1) shielding the thermostat from the wind; (2) running both discharge augers from the leeward thermostat, or (3) mechanically operating the windward discharge auger at a speed equal to the leeward discharge auger.

The wind itself has little or no detrimental effect on the operation of a dryer and it is not necessary to shield the dryer from the wind. Shielding may, in fact, be detrimental because it may cause moist air to be drawn back into the dryer, and may also increase operator discomfort from swirling moist air and debris. Completely satisfactory drying has been obtained with many dryers operating without shielding in winds up to 50 km/h.

The effect of sunshine striking a thermostat will be the opposite to that caused by the wind. The thermostat on the sunny side will allow a higher grain-flow rate than will the one on the shady side. As wind and sun conditions change, unshielded thermostats may have to be readjusted to prevent underdrying or overdrying. However, the effects of wind and sun on the actual performance of the dryer are insignificant.

Ambient Air Temperatures

Differences in ambient air temperatures have little effect on drying rates if the temperature of the drying air is kept constant. However, the ambient air temperature does have a very significant effect on fuel consumption. Table 3 shows the relative fuel consumption in maintaining a drying temperature of 65°C.

Early fall drying is much less expensive than winter drying and allows a farmer to take advantage of more of the benefits of grain drying. When ambient air temperatures are high, the initial grain temperatures are also high and this further reduces fuel costs and drying times. Some dryers may have insufficient burner capacity to produce high plenum temperatures at very low outdoor temperatures.

MAXIMUM DRYING TEMPERATURES

The rate of grain drying is increased as the temperature of the drying air is raised. However, the grain will be damaged if the temperature is too high. Damage is more likely to occur when the grain is dry or nearly dry. Damp grain remains relatively cool due to the evaporative cooling that occurs when moisture is released. As the grain becomes drier, the moisture release slows down and the grain temperature increases. By the time the grain is dry, it is possible that some of it will have reached the same temperature as the drying air. To prevent grain damage, it is important that the maximum air temperature does not exceed the maximum allowable temperature of the grain being handled. The maximum drying temperatures for various cereal grains and oilseeds are given in Table 4.

The temperatures given in Table 4 are conditional on drying to not more than 1% below the safe storage moisture content (Table 1), and on the removal of not more than 6% moisture in one pass through a high-speed dryer. With dryers where the grain is exposed to heat for long periods (such as in non-recirculating bin dryers), it is advisable to use temperatures 5 — 10°C lower than those listed for commercial use. This is particularly important when drying rapeseed since the oil quality is affected by long exposure to high temperatures.

Air temperatures higher than those shown in Table 4 are safe under some conditions. If the grain is very damp, air temperatures 20°C above those indicated can be used safely during the early drying stages since evaporative cooling keeps grain temperatures low. As the grain approaches the 'tough' stage it is important that the temperatures be reduced to those shown in Table 4, or even lower. This can be done either manually or by the use of timers in any batch dryer. Continuous-flow dryers with the crossflow design (a crossflow dryer is one in which the airflow is perpendicular to the grain flow) and a single heating section should not use temperatures above those given in Table 4. Other types of continuous-flow dryers may be able to use slightly higher temperatures, but the dried grain should be checked for damage.

Temperature Sensing

A common problem in grain drying is inaccurate temperature sensing. Thermometers may become damaged, or sometimes they are improperly located and don't indicate the highest temperature in the air plenum. This often results in damaged grain, even though the temperature reading is within the specified limits. The best insurance against this problem is to use extra thermometers in the hot-air plenum and/or check the temperature of the grain nearest the plenum with a temperature probe. Various types of temperature indicators are available, although gas-filled thermometers are most commonly used in dryers. These may be obtained from dealers selling dryers or from thermometer suppliers in the larger cities.

If grain temperatures are being measured it is very important to know the exact location of the sensing bulb in the grain column. Typical temperature and moisture variations in a stationary batch or continuous-flow dryer are shown in the following

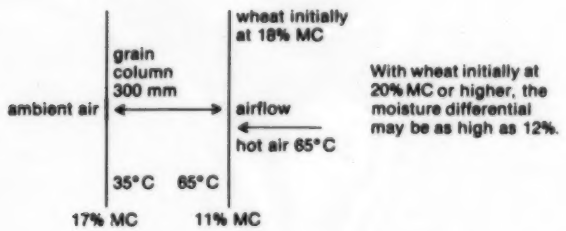
TABLE 3. RELATIVE FUEL CONSUMPTIONS AT VARIOUS AMBIENT TEMPERATURES

Ambient air temperature	Relative fuel consumption
15°C	1
-7°C	1.5
-30°C	2

TABLE 4. MAXIMUM DRYING TEMPERATURES

	Seed or malting	Commercial use	Feed
Wheat	60°C	65°C	80 - 100°C
Oats	50	60	80 - 100
Barley	45	55	80 - 100
Rye	45	60	80 - 100
Corn	45	60	90 - 100
Flax	45	80	80 - 100
Rapeseed	45	65	—
Peas	45	70	80 - 100
Mustard	45	60	—
Sunflowers	45	50	—
Buckwheat	45	45	—

diagram. A temperature-sensing bulb could give a reading of anywhere between 35 and 65°C depending on its location in the grain column.



The temperature and moisture differentials in recirculating batch dryers are normally less than in stationary batch or non-mixing continuous-flow dryers. Lower air speeds (such as obtained with rapeseed or flax) increase the differentials, and higher air speeds reduce them. Since the grain-temperature indicators on dryers may be located at various places across the grain column, these temperature readings should not be taken as indicators of safe drying temperatures.

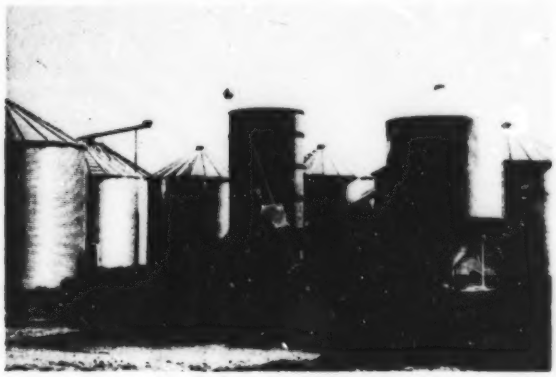
Testing for Heat Damage

Various tests may be conducted to find the highest acceptable drying temperatures for a particular grain and dryer. If the grain is to be used for seed, a germination test should be used. In addition, a sample of the grain should be taken before drying for testing to help determine whether there was any change in the germination rate during the drying process. Other commercial grains (milling wheat, malting barley and oilseeds) are tested free of charge for heat damage by the Canadian Grain Commission. Two samples (minimum of 500 g each), one taken before and one after drying, should be sent to the Grain Research Laboratory, Canadian Grain Commission, Winnipeg, Man. The samples should be representative of the grain going in and coming out of the dryer. If the grain quality is unchanged, a higher temperature can be tried and two more samples sent in for testing. Several companies that purchase oilseeds, corn, and grain for seed also conduct tests for heat damage. Check with the purchaser at the start of drying to ensure that the dried grain meets their standards.

GRAIN-HANDLING SYSTEMS FOR DRYERS

A convenient grain-handling system is one of the most important factors in grain drying. If drying grain during harvest creates bottlenecks, inconvenience and labor problems, then drying will tend to be used only as an emergency procedure. Many of the potential benefits of drying are lost in such a situation. The grain-handling system should be

arranged so that there is an absolute minimum of extra work involved in using the dryer. It should be only a matter of minutes to change back and forth between drying and not drying. The drying and storage system should be set up in such a way that the grain coming from the dryer can be transferred directly to a cooling bin or storage without having to be loaded into a truck. All large storage bins should have aeration systems to help ensure safe storage.



Continuous-flow dryer and semicircular storage layout.

Damp grain coming from the field will normally need to be placed in a surge bin to allow the truck to unload quickly and return to the combine. The damp grain is then fed as required into the dryer from the surge bin. The bin should be large enough to hold about half a day's harvesting volume. This is adequate for a system in which the dryer dries at half the harvesting rate and operates twice as many hours per day as the combine. Depending on the drying procedure and dryer capacity selected, a damp-grain surge bin may not be required if a bin dryer is used.

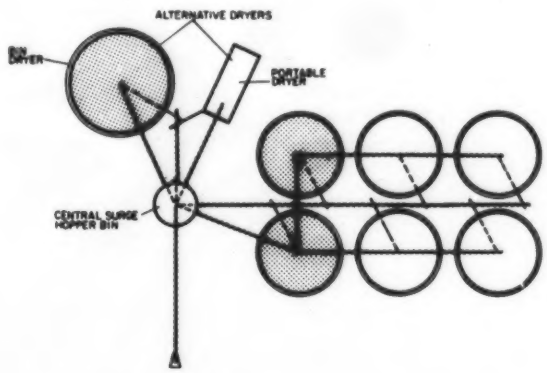


Figure 6. Grain drying and storage system with augers.

There are several bin arrangements that allow easy transfer of grain from the dryer to storage with a minimum of cost and inconvenience. Figure 6 shows one such arrangement using augers. Another arrangement, using a bucket elevator, is shown in Figure 7. Both systems can be built up in stages, starting with just a few bins. Detailed plans for these and other arrangements can be obtained from your provincial Department of Agriculture engineer, or from agricultural engineering consultants. Equipment details and other planning information can be found in the publication *Grain Storage and Handling Systems*, available from Communications Branch, Agriculture Canada, or the information may be obtained from your local engineer.

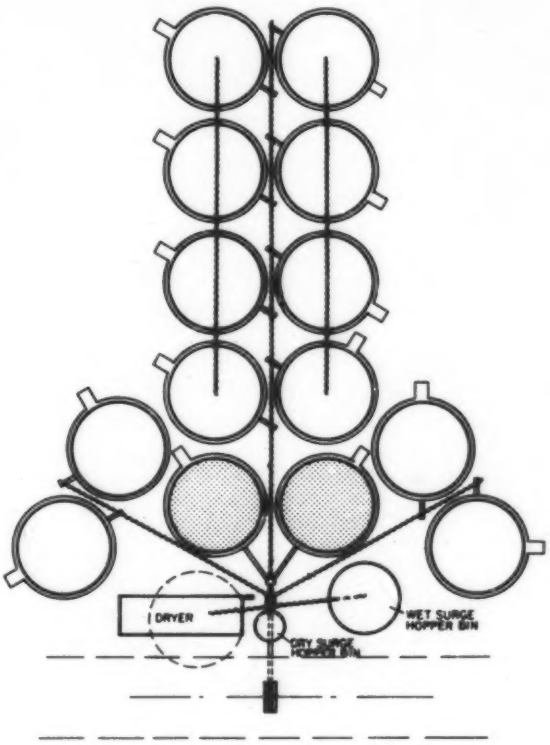


Figure 7. Grain drying and storage system using bucket elevator.

A special problem to be considered in planning is the possibility of fire when drying certain crops (particularly sunflowers). A convenient water supply and avoidance of combustible materials near the dryer can keep this hazard to a minimum.

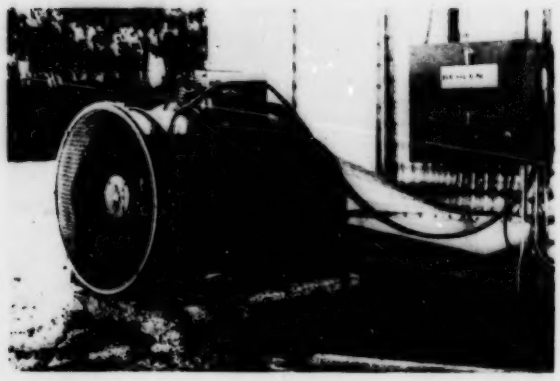
DRYER TYPES

There are three major types of dryers: the non-recirculating batch type where the grain is loaded as a batch and remains stationary in the dryer throughout the drying period; the recirculating batch type where the grain is loaded as a batch and is constantly mixed while drying; and the contin-

uous-flow type where the grain is loaded and unloaded continuously or intermittently. The three types are available for stationary bins and as portable dryers. The drying characteristics of the three types vary according to the grain depth and the rate of airflow. The individual characteristics, operational procedures and problems of each type are discussed in the following sections.

Bin Dryers

Bin dryers are available in many sizes and capacities, and can be operated in different ways to obtain various drying rates. They normally have lower airflow rates than other dryer types, resulting in slower drying but lower fuel consumption. Since bin dryers usually contain a greater volume of grain than other types, the amount of grain dried in a day can equal that with a 'high speed' dryer. A bin dryer should be sized to dry as much grain in 24 hours as will be harvested in a normal day. Manufacturers of bin drying equipment can provide detailed information on drying capacities with various bins, heaters and auxiliary equipment. An example of such information is given in the Appendix. A bin dryer setup can begin with a simple batch process, and if more capacity is desired, stirring augers or a continuous-flow device can be added later.



Bin dryer.

Batch-In-Bin Process

The lowest-cost setup uses the batch-in-bin process. A bin with a fully perforated floor, a grain spreader, fan and heater, sweep auger and underfloor unloading auger make up the basic equipment needed (Figure 8). The heater and fan unit is started up as soon as the first load of damp grain is dumped into the bin, and continues to operate as long as required to get the average moisture content of the grain to the desired level. Additional grain is loaded into the bin as harvesting progresses. By selecting an appropriate final depth of grain, based on dryer capacity and grain moisture content, a batch can be dried in 12, 24 or any other convenient number of hours. There can be substantial differences in the airflow resistance of different batches of grain depending on the filling method used, the size of seeds, and the amount and type of foreign material in the grain. For this reason the recommended depths given in the literature should be taken as a guide only. The best depth for a particular batch can be determined with the aid of a manometer or U-tube to measure the static pressure under the floor (Figure 9). The actual airflow rate can then be determined by using the charts supplied with the fan unit. Airflows of about 125 litres per second per cubic metre of grain ($L/s \cdot m^3$) are recommended for efficient drying. Figure 10 shows the effect of grain depth on airflow rate for a typical fan and bin size. Typical grain depths for wheat, oats and barley are 1.5 — 2 m at moisture contents below 20%. Flax and turnip-type rapeseeds use depths of about 0.5 — 1 m. Lower moisture contents and lower temperatures permit greater depths (which result in lower airflows), while higher moisture contents and temperatures require the use of shallower depths (which result in higher airflows).

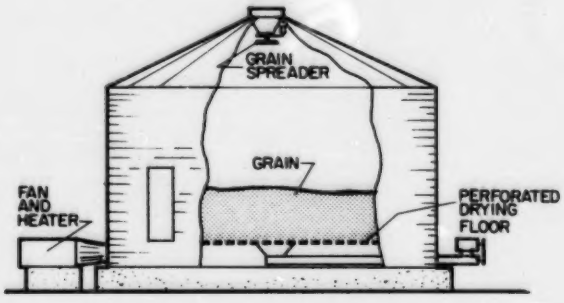


Figure 8. Typical batch dryer bin.

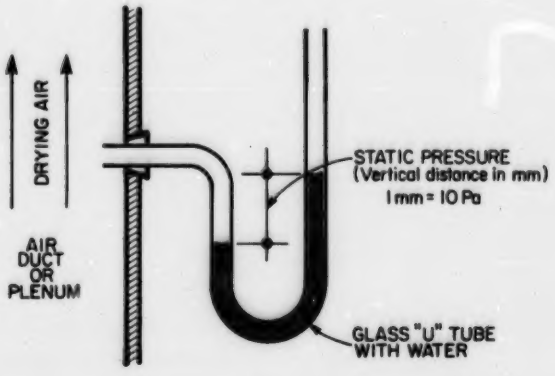


Figure 9. Static pressure measurement with manometer.

It is essential for the grain to be the same depth over the entire floor to ensure a uniform airflow and drying rate. Proper adjustment of the grain spreader should minimize or eliminate the need for manual leveling.

The grain nearest the floor will dry first and the 'drying front' will then move up through the grain. The location of this front will give an indication of the additional drying time needed. The use of higher air temperatures will speed drying somewhat, but will also increase overdrying near the floor.

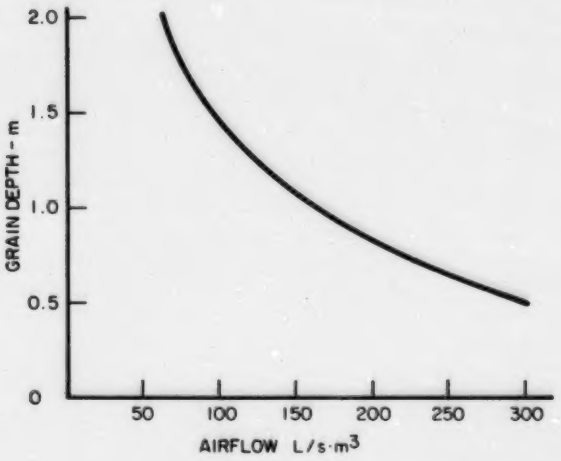


Figure 10. Airflow vs. depth of wheat for a particular fan-bin size combination.

With a bin dryer, the best way to hasten drying is to reduce the depth of grain. This increases the airflow and also provides more-uniform drying. A common tendency is to put too much grain in each batch. This reduces the number of times that the bin must be unloaded, but seriously reduces the overall drying capacity. The unloading of the dryer bin and the transfer of the grain to storage should be able to be carried out as quickly and conveniently as possible, so that several smaller batches can be dried each day when there is need for more drying capacity. The sweep auger should be at least 150 mm in diameter and have a backshield to clear the bin in one pass. The underfloor auger on all except fairly small bins should be at least 200 mm in diameter and have an exposed flighting of at least 300 mm, and preferably 500 mm, at the hopper intake. Adequate power for the augers is also essential. If several batches are to be dried in one day, a damp-grain surge bin may be needed. Another approach is to position the heater and fan unit to alternately serve two bins. This allows one bin to be filled and emptied while the other is being dried, thus eliminating dryer downtime and the possible need of a surge bin.

Some experience is required to determine when to turn off the heat and begin cooling. Usually the heat can be turned off when the drying front is about 150 mm from the surface. Some moisture will be removed during the cooling process, so it isn't necessary to dry the batch completely with hot air. The amount of moisture removed during cooling will depend to a large extent on the decrease in grain temperature. If the grain is cooled 40 — 50°C, it could lose between 1 and 2%, while a smaller decrease would reduce the moisture content by a smaller amount. Very high ambient air temperatures, together with high relative humidities, might result in no moisture being removed, or even a slight increase in the moisture level if the fan is run too long.

Cooling may be done with the dryer fan, or if aerated storage is available the grain can be transferred hot to the storage bin and cooled by an aeration fan. In either case, the grain should be cooled to within 5°C of ambient air or 2°C, whichever is higher, to prevent condensation or moisture migration. Since the grain does not have a uniform moisture content when it is removed from the dryer, and since complete mixing is not ensured, it is recommended that grain from a batch-in-bin dryer be placed in aerated storage to level out any moisture variations.

Drying in cold weather may result in condensation on the underside of the roof or on the walls of bin dryers. Troublesome wet spots may be created if this water is allowed to drip onto the grain. On some bins, a continuous opening can be provided around the bin eaves to allow water to run along the underside of the roof and drip down outside. With any drying bin, the total exhaust opening should be at least 3% of the floor area to allow easy exit of the moist air. The addition of an exhaust fan may be helpful in increasing the airflow through the bin. The fan must not be placed in any of the existing exhaust openings since this could cause a decrease in total airflow rather than an increase. Insulating the bin roof is another method of reducing condensation when drying in cold weather.

Drying small oilseed crops may create a problem on some perforated floors if the seeds block the openings. If this occurs, a shallow layer of larger-seeded grain, such as barley or oats, may be placed on the floor and the oilseed crop placed on top of it. The grain acts as an air diffuser and allows a greater airflow as well as preventing leakage of small seeds through the perforated floor. When removing a batch, the sweep auger is set so that it doesn't remove the large seeds on the bottom. Should some mixing occur, it is not difficult to separate the small seeds from the larger ones. The sweep augers in bin dryers do not completely clean the drying floor, so a seed grower would likely find a bin dryer unsuitable because of the extra work required for cleaning. The small amount of mixing when changing grain types is not usually a problem in the case of commercial grain sales. Sweep augers tend to accumulate fines near the bin center, so periodic cleaning of the perforated floor is required to prevent uneven airflow through the floor.

There are a number of variations of the basic batch-in-bin drying procedure. An alternate heating and cooling cycle may be used to reduce the moisture differential between the top and bottom of the

batch. A cycle time of 3 or 4 minutes is used, with 75% of the time spent in heating and 25% in cooling. During the cooling part of the cycle the heat from the grain nearest the plenum is carried to the cooler grain and this results in a more-uniform temperature and moisture content throughout the batch. In a comparison with continuous heat drying, the moisture differential in a 1 m depth of grain was only about half as great with cycled drying. Slightly higher air temperatures can be used with this method to compensate for the reduced heating time.

Overhead Drying Floors

Some bin dryers use an overhead cone-shaped drying floor supported about 1 m below the roof (Figure 11). The heater and fan unit is mounted just below the drying floor. When the grain is dried it is dropped to a perforated floor below where an aeration fan is used to cool the grain while the next batch is loaded and dried on the floor above. Additional batches are dropped on top of the cooled grain until the bin is filled to the level of the heater unit. The dried grain is then transferred to another storage bin. With this system, drying can continue while the grain is being cooled and transferred. Unloading of the drying floor requires only about a minute.

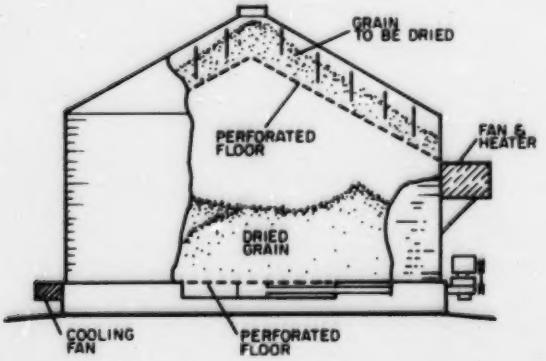


Figure 11. Bin dryer with overhead drying floor.

Stirring Augers

Vertical stirring augers can be added to a bin dryer to increase the allowable depth of grain and to provide more-uniform drying (Figure 12). The augers transfer dry grain from the bottom up through the grain mass. Stirring also fluffs up the grain which increases the airflow substantially. This normally permits slightly higher drying temperatures which, together with the increased airflow, result in significantly higher drying rates (see Appendix). Grain depths of 2 — 4 m may be used with wheat, oats or barley depending on the initial moisture content. Small oilseeds may use depths of 1 — 2.5 m. The use of stirring augers may result in slightly higher fuel consumption, but this is outweighed by the increased drying rate, the reduction in overdrying at the bottom, and the larger batch size.

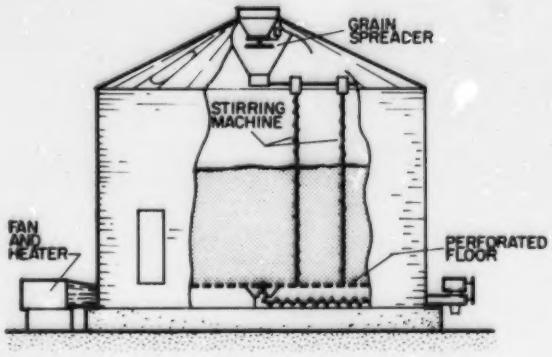
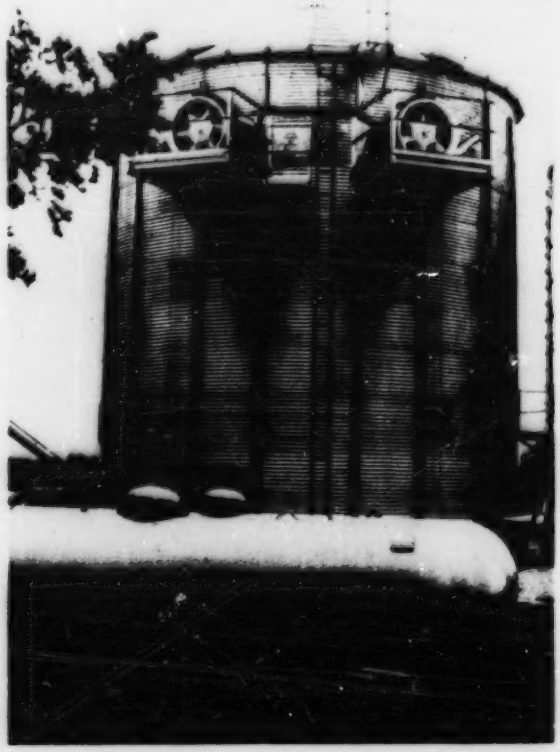


Figure 12. Bin dryer with double-auger stirring device.



Bin dryer with overhead drying floor.

Recirculating and Continuous-flow Devices

There are a number of other devices that can be added to bin dryers, either to recirculate the

grain or to provide a more or less continuous flow through the bin. Figure 13 shows a bin dryer equipped as a recirculating batch dryer. The perforated floor is sloped towards the center so that the grain flows into a central chamber where it is picked up by a vertical auger and delivered to the top of the grain bin. The grain is mixed continuously as it is dried, and the drying is more uniform than in a non-recirculating batch dryer.

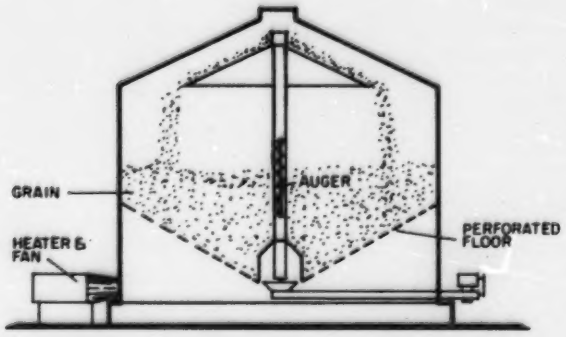


Figure 13. Recirculating batch bin dryer.

Figure 14 shows another unit that can be used either to recirculate the grain or to provide a continuous flow. A sweep auger is used to move the dried grain to the center of the perforated floor where it is picked up by a vertical auger and carried to an inclined transfer auger which takes the grain to a cooling bin. The operation of the sweep auger is controlled by a thermostat. The grain can also be recirculated by augering it up to the grain recirculator instead of to the transfer auger. When the unit is operated as a continuous-flow dryer the cooling must be done elsewhere, so this system needs at least one more aerated bin to complete the cycle. Dryeration or combination drying is normally used with this type of system. Excessive grain depths in recirculating and continuous-flow dryer bins will reduce drying rates substantially. Grain depths should be the same or only slightly greater than those used in the batch-in-bin process.

Other drying procedures, such as multistage drying, are frequently used in bin dryers. Since these procedures can also be used with any other type of dryer, they are discussed later (see *Multistage Drying*).

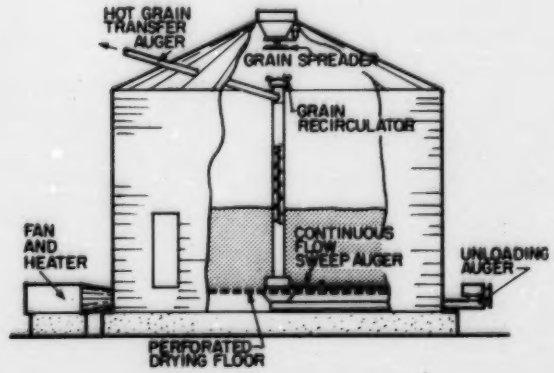


Figure 14. Continuous-flow or recirculating drying bin equipment.

Portable Dryers

Batch Dryers

There are two basic types of portable batch dryers available—the recirculating and non-recirculating types. These dryers are equipped with wheels to make them portable, but once they arrive at the farm it is essential that they be placed in a permanent position in a well-planned grain-handling system if drying is to be done efficiently and conveniently. The initial attraction of a portable dryer is usually to a farmer who has grain bins scattered around in various locations or does custom drying off his farm. While this may fill an immediate need in an emergency situation, a portable dryer without a proper grain-handling system will normally not be used in situations where drying would be beneficial but not absolutely essential. Many of the potential benefits of a dryer will be lost if it is not convenient to use at a moment's notice. The selection of a dryer should not be made on the basis of portability unless it is to be sold again immediately after the crisis is past.

Most batch dryers must be operated with a full or nearly full batch of grain. If the top of the air plenum is covered with only a few centimetres of grain, most of the air will escape through the top and most of the heat will be wasted.

When batch dryers are used to remove only a few points of moisture from grain, their 'time efficiency' is greatly reduced. Filling, cooling and unloading times are unchanged but the heating time is reduced. The actual drying time therefore becomes a lower percentage of the total operating time.

Considerable variation in drying rates and fuel efficiencies can be expected with batch dryers on different types of grain. Since the grain depth remains the same regardless of seed size, the airflow will be much lower for small oilseeds than for coarse grains and corn, particularly where an axial flow fan is used. This results in a reduced rate of moisture removal for crops such as flax and rapeseed, but also a substantial increase in fuel efficiency. Since it remains in contact with the grain longer, the air has more time to pick up moisture and is expelled at a higher RH. Increases of over 25% in fuel efficiency have been observed in batch dryers when drying flax as compared with wheat. A corresponding reduction in rate of water removal normally accompanies the increased fuel efficiency.

When comparing different batch dryers, fan capacity and column width are important variables. Higher fan capacity and narrower column widths will produce higher drying rates, but lower fuel efficiencies. Fan type is also important. A centrifugal fan will normally produce a more-constant airflow with different types of grain and will usually be quieter in operation than an axial flow fan.

Problems with temperature measurement, as discussed previously, are common in batch dryers as well as in other types. Malfunctions of sensors, and their improper location in the hot-air plenum and grain columns can result in misleading temperature information. Extra thermometers should be installed in the plenum and in the grain column next to the plenum to reduce these dangers.

Samples taken from batch dryers for moisture checks must be representative of the grain throughout the entire thickness of the grain column or bed. Careless sampling can result in seriously overdried or underdried grain.

Substantial improvements in both drying rate and fuel efficiency can be obtained by removing the hot grain from a batch dryer before the grain is fully dried and using unheated air to complete the process. This is discussed in more detail under *Multi-stage Drying*.

Batch dryers have some advantages over other types where relatively small amounts of different grains are to be dried. Start-up and changing from one type of grain to another is relatively easy compared with a continuous-flow dryer, and unloading and cleaning operations are usually easier than with a bin dryer. However, most batch dryers have much higher airflow rates than bin dryers and, consequently, use considerably more fuel to do the same amount of drying.

It is essential to have high-capacity loading and unloading equipment for a batch dryer to keep downtime to a minimum. An auger size of 150 mm or larger should be used to transfer grain into and out of the dryer. A damp-grain surge bin is also essential for efficient operation of a batch dryer.

Non-Recirculating Type—There are several variations of non-recirculating batch dryers, but most are of the fully enclosed, two-column type (Figure 15). The damp grain is loaded into the dryer from the top until it is filled and then the hot air is forced through the grain until it is dry. The grain does not move inside the dryer, so the inside layer becomes overdried while the outside layer remains underdried. After the heat cycle, the grain is cooled inside the dryer by shutting off the heat, or it is transferred to an aeration bin for cooling. As the grain is unloaded, the wetter and dryer grain is mixed and if safe temperatures were used and the grain was sufficiently dried and cooled, a satisfactory product results.

There are a number of automatic controls and safety devices available for these dryers. As the grain dries it shrinks, so with the use of a pressure switch and timer the dryer can be refilled from the surge bin. The dryer may also be set to operate at a higher temperature for the first part of the drying cycle if the grain is very damp, and then at a lower temperature for the latter part. A thermostat or timer may be used to regulate the heat shutoff control. The cooling time may also be controlled by a timer and the unloading augers started automatically after cooling. A batch dryer equipped with all of these controls is commonly referred to as an automatic batch dryer. If all of the controls are set and working properly, a batch dryer can fill, dry, cool and unload one batch after another without manual supervision or control. As grain conditions change, timers and thermostats have to be reset, and manual correction is needed in the case of a malfunction. A totally mechanized grain-handling system is essential for such a system to operate and get the grain into storage.

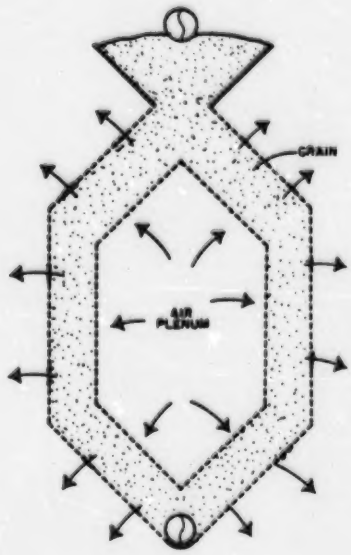
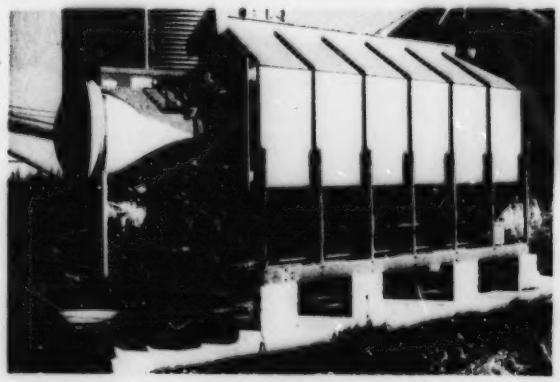


Figure 15. Non-recirculating batch dryer.



Non-recirculating batch dryer.

There are also other types of non-recirculating batch dryers such as wagon or truck-box dryers. A heater and fan unit, similar to those used for bin drying, is connected to a main plenum which is connected to smaller ducts inside the truck box. These ducts may be located on the floor or suspended at mid-height of the box. If they are suspended, exhaust ducts must be provided at the floor of the box. Capacities vary with the fan and burner capacity, and size of the truck box.

Recirculating Type—Recirculating batch dryers have one central air plenum surrounded by grain, and operate in the same sequence as non-recirculating batch dryers. The main difference is that the grain is constantly recirculated throughout the heating and cooling cycles. The dryer is usually circular in shape to accommodate the vertical auger in the center of the dryer (Figure 16). The auger picks up the grain at the bottom of the dryer and deposits it at the top. It is also used to unload the dryer. A complete recirculation of the grain occurs about every 15 minutes, which is the same as the unloading time. The constant mixing results in a more uniformly dried batch of grain than in a non-recirculating batch dryer. However, the constant augering can cause damage to certain seeds (including beans, peas and malting barley), particularly when they are nearly dry.

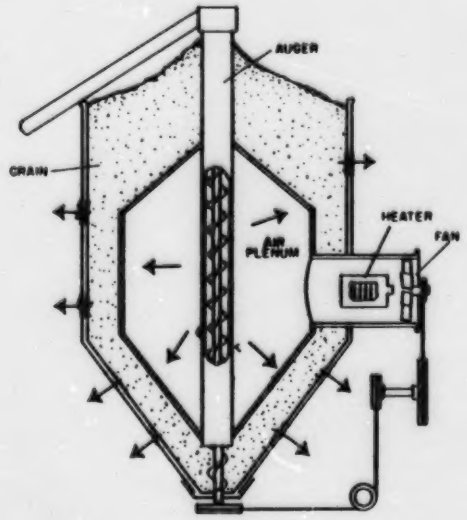
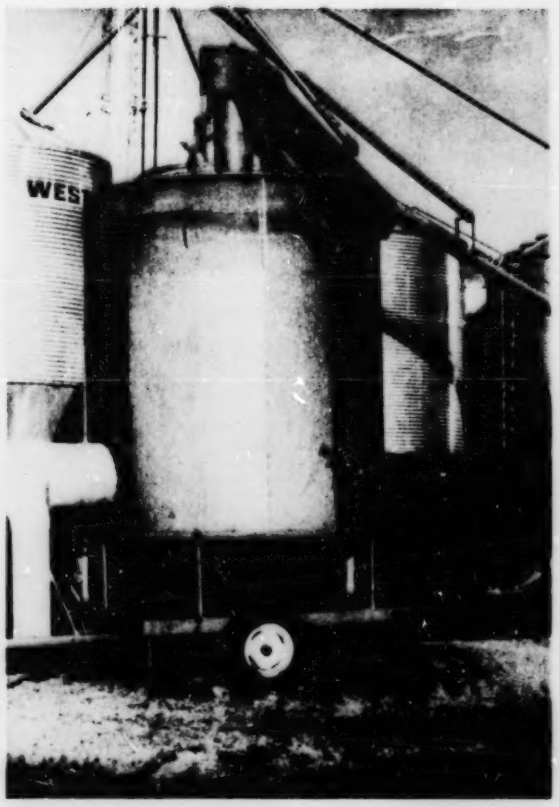


Figure 16. Recirculating batch dryer.

Drying temperatures 20°C higher than those given in Table 4 can be used while the grain is damp, but when the grain gets into the tough range the temperatures should be reduced to the levels indicated.

Automatic controls, such as those described in the section on the non-recirculating types of batch dryer, can also be used with recirculating batch dryers to reduce the amount of labor and supervision required.



Recirculating batch dryer.

Continuous-flow Dryers

There are many types of portable continuous-flow dryers. One of the more common types uses two or four vertical grain columns, with the air passing through the grain at right angles to the grain flow (Figure 17). The grain is loaded into a hopper on top of the dryer, flows down on both sides of the hot-air plenum, then past the cold-air plenum, and is removed by augers. The grain-flow rate is normally controlled by a thermostat located near the outside of the grain column. The rate of flow may also be controlled manually on most dryers. The grain is not mixed as it flows downward and, as a result, the grain next to the hot-air plenum becomes overdried, while the outside grain is underdried. Moisture differentials across a 300 mm grain column may be as high as 6 — 12% when the average moisture content is dry. The grain is mixed as it is unloaded and an acceptable product is produced if safe temperatures were used.

The moisture differential across the grain column depends on initial and final moisture content, air temperature, flow rate, and the column width. In a comparison of two dryers with 150 and

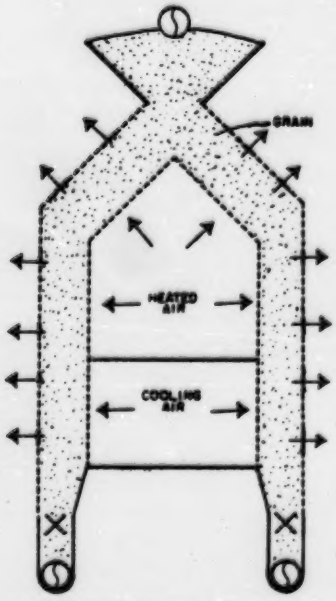


Figure 17. Continuous-flow dryer.

300 mm grain columns, using fans of the same type and size, the moisture differential was about 3.5% and 6% respectively. There was less resistance in the 150 mm column and the fan output was almost 50% greater than with the 300 mm column. Fuel consumption was also increased by about 50%, with very little difference in drying rates. As fan capacity is reduced or width of grain column increased, more efficient use of the heat results, but moisture differentials are increased.

Some continuous-flow dryers use three fans and plenums, each with individual temperature controls. The dryers can be run with two heating sections and one cooling, or with heat in all three, in which case the grain would be cooled in an aerated bin. The top section is normally run at a higher temperature since this air is in contact with the wettest grain. The dryer can also be operated as a continuous batch dryer, where the grain is dropped one section at a time instead of in a continuous flow.

Some continuous-flow dryers draw the cooling air through the grain and then pass it through the fan and heater unit into the hot-air plenum. This reclaims heat given up in cooling the grain and reduces the air-grain temperature differential as the grain passes from the heating to cooling sections. Some moisture is also picked up and sent through the heater unit, but there is still a net gain in fuel efficiency. Chaff and fine material picked up in the cooling section will accumulate on the inside of the hot-air plenum and, because of this, frequent checking and cleaning of the plenum may be required. The construction of this type of dryer may make it unsuitable for use in a dryeration system because it may not be possible to use the entire dryer for heating.

Another type of continuous-flow dryer is shown in Figure 18. It also has two vertical grain columns, but the airflow is parallel to the grain flow. This provides a uniform drying rate across the column because the entire width is subjected to the same air, and the grain is mixed as it passes through the dryer. Since this design reduces the danger of heat damage, slightly higher temperatures can be used than with the two-compartment crossflow dryer. This type of dryer has no screens; consequently, depending on quality of construction, small-seeded crops may be dried without leakage and cleaning may be easier. The dryer can be operated as a batch type, with both top and bottom sections receiving either hot or cold air. This feature, which is also available on some other continuous-flow dryers, is useful in start-up or when small batches of grain are to be dried.

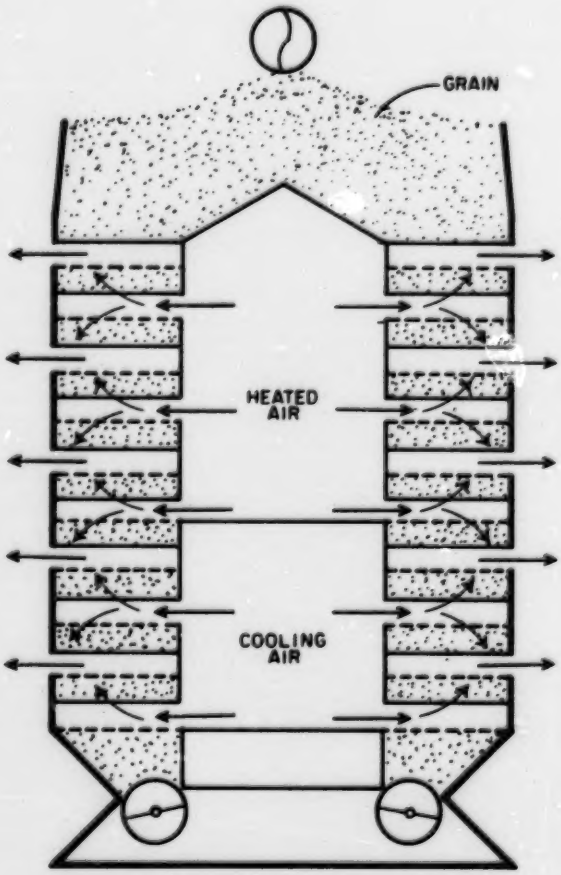


Figure 18. Parallel continuous-flow dryer.

Continuous-flow dryers are generally not well suited for drying small volumes of grain since starting and emptying them is quite inefficient, and accurate moisture control is difficult to achieve until a uniform flow is established, usually requiring a couple of hours. They are best suited to drying large

Drying system with continuous-flow dryer and parallel airflow.

volumes of grain without frequent changes from one type of grain to another.

Moisture controls on continuous-flow dryers are frequently affected by the sun and wind (see *Weather Effects on Drying*). Temperature sensors in hot-air plenums may be improperly located or may be inaccurate. Extra sensors should be placed in the plenum to get an accurate reading in the hottest part. Temperature sensors installed in the grain column next to the hot-air plenum can also be used to help guard against grain damage. Gas-modulating valves should allow the dryer to be operated at temperatures as low as 40°C.

Airflows in continuous-flow dryers are normally in the same range as those in batch dryers, and both types of dryer have similar fuel efficiencies. Drying rates will vary according to seed size, which has an effect on the rate of airflow. Faster drying rates can be obtained by using auxiliary cooling, dryeration or combination drying.

Large continuous-flow units can dry grain quickly when only a few points of moisture are being removed, so augers and surge bins must have considerable capacity. Augers of at least 150 mm diameter should be used.

Many different automatic controls and safety shutoffs are available for these dryers, allowing their operation without constant supervision. However, because controls need to be readjusted as grain conditions change, and because malfunctions can occur, frequent checks of their operation must still be made.

MULTISTAGE DRYING

Dryeration

Dryeration, or two-stage drying, is a process that uses both a grain dryer and a high-capacity aeration system. It consists of removing hot grain from the dryer at moisture levels about 2% above 'dry' and completing the drying and cooling process in a storage bin with airflows of 5 – 10 L/s·m³ (Figure 19). Aeration is begun 6 — 12 hours after the grain is binned. This allows time for moisture to move from inside of the kernels to the outside for easier removal. There are a number of advantages to this process as compared with using a grain dryer only:

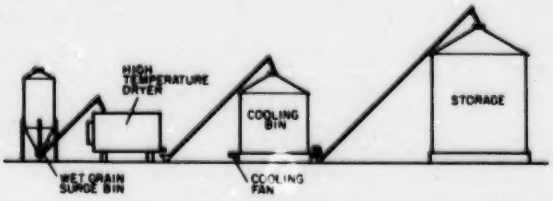


Figure 19. Dryeration process.

•Slightly higher drying temperatures can be used since the grain isn't completely dried in the dryer.

•The need for cooling time in a batch or bin dryer, or for a cooling section in a continuous-flow dryer, is eliminated. The use of higher temperatures, coupled with the elimination of the cooling time and a reduction in the drying time in the dryer, can result in an increase of 50% or more in dryer output.

•Fuel savings of 20% or more are common. The last few points of moisture are the most difficult and costly to remove in a heated air dryer so by removing them in the bin using the heat contained in the grain, much less fuel is required.

•Grain quality may be improved since rapid cooling of hot grain, which could cause stress cracks, is avoided. There is also less chance of heat damage.

Low-capacity aeration systems are inadequate for dryeration cooling. Larger fans and duct sizes are required to achieve airflows of 5 – 10 L/s·m³. A fully perforated floor is desirable for the cooling bin since this will eliminate excessive pressure drops and produce a more-uniform airflow through the grain as compared with aeration ducts. It also eliminates the need to move the grain again for final storage.

Because a considerable amount of moisture is removed during cooling, condensation on the roof and walls of the bin is often a problem if the air is blown up through the grain. This means that the grain must be transferred from the cooling bin to another storage bin to mix any wet grain with the dry grain if a fully perforated aeration floor is not used. The extra grain transfer is the main disadvantages of this process.

Pulling the air down through the grain will reduce the condensation on the roof but will reduce the effectiveness of the dryeration cooling since the last grain in is the first to be cooled. Another way to eliminate the transfer is to begin cooling the grain just as soon as it comes from the dryer. This prevents most of the condensation by having a continuous airflow through the bin right from the start of filling. The grain

can then be left in the cooling bin for storage. A disadvantage of this method is that some of the benefits of the 'heat soak' are reduced since the grain has less time to attain internal moisture equilibrium. This would mean that slightly less moisture (about 1%) would be removed during the cooling stage. Because of this, the grain would need to remain in the dryer a little longer.

Combination Drying

Combination drying is an extension of the dryeration process. It is used primarily when grain with a very high moisture content (above 25%) is to be dried. A high-temperature dryer is used to lower the moisture content to 19 — 23%, then the grain is transferred to a bin dryer for completion of the drying, either with or without supplemental heat. This makes use of the most efficient operating ranges of both types of dryers. The output of the high-temperature dryer is increased by two or three times compared with its use for complete drying. Dryer fuel requirements are reduced by about 50%, depending on the amount of moisture removed in each stage. There is also an improvement in grain quality as compared with completing the drying in the high-temperature dryer.

Airflows for the bin drying portion of combination drying are in the range of 10 – 25 L/s·m³. Fully perforated floors must be used. The grain may be put through a 'heat soak' dryeration process before the final bin drying or it may go directly from the high-temperature dryer to the bin dryer for immediate cooling and final drying.

The choice of using dryeration or combination drying will depend on the amount of grain and its initial moisture content, the cost of energy, and the capital investment required. Where small amounts of grain are involved and the moisture content is relatively low, the investment in equipment for combination drying would not be warranted. Higher initial moisture contents, larger grain volumes and higher fuel prices make dryeration and combination drying more attractive. In all cases, however, where bins of 100 m³ or larger are built, aeration ducts should be provided, even for grain that is brought in dry from the field. Building the aeration ducts large enough for airflows of at least 10 L/s·m³ is recommended so that future options are left open to accommodate some type of multistage drying. Because it allows the greatest variety of options, a fully perforated floor should be seriously considered when a large storage bin is being planned. Every grain storage system should contain at least one and preferably two or three bins with perforated floors.

AERATION

In aeration, unheated air is passed through a grain mass to cool it, or to equalize the temperature or moisture content throughout the bin. Aeration normally involves moving small amounts of air (about 1 – 2 L/s·m³) through dry or nearly dry grain. This is done to lower and equalize the grain temperature in the bin and prevent moisture migration (Figure 5), and to cool warm grain coming from the field. Small amounts of air such as this will do very little drying unless the weather is very dry and the fan is run for a long time. Grain that is put into storage with varying amounts of moisture can benefit from aeration since it will assist in the transfer of moisture from the wetter to the drier grain. Higher airflows (7 – 13 L/s·m³) are needed to maintain damp grain in condition while it is waiting to be dried. If outdoor temperatures become very warm, even these airflow rates may not ensure safe storage. Damp grain should be aerated continuously until it is dried or its temperature is reduced to near 0°C, especially at night when air temperatures are normally lower. When using aeration to cool dry, hot grain coming from a dryer, the fan should be operated continuously until the grain is within 5°C of the average outdoor temperature. At 1 L/s·m³, this may require up to a week of operation. Care should be taken to avoid overdrying of the grain by excessive aeration during very dry weather.

It is important to select ducts, perforated areas and fans of adequate size when setting up any aeration system. The required information and design assistance is available from your local agricultural engineer.

DRYING RATES AND EFFICIENCIES

The design and operation of grain dryers is frequently a compromise between drying rate and fuel efficiency. Increasing the airflow will speed drying but will also increase fuel consumption. Increasing the grain depth or column width will give better fuel efficiency but slower drying rates. If a fixed column width or depth of grain is used for large- and small-seeded crops, fuel efficiency and drying rates will vary greatly. Smaller seeds have a higher resistance to airflow and therefore reduce the fan output. This increases the amount of water that is absorbed by the air before leaving the dryer. Therefore, a dryer will give higher fuel efficiency with flax than it will when wheat or barley is being dried. Reducing the fan speed on batch and continuous-

flow dryers will increase fuel efficiency, but will also reduce the drying rate.

Several practices contribute to both improved fuel efficiency and faster drying rates. The elimination of overdrying will do both as well as reduce the chance of grain damage. The drier the grain gets, the more time and fuel are required to remove moisture.

The effect of initial moisture content on drying rates and fuel efficiencies is shown in Table 5.

Removing fine weed seeds and broken kernels will also improve drying rates and reduce the total amount of drying required. Running the grain through a precleaner or screened auger before drying can help to speed up the drying and to reduce variations in drying rates.

Differences in initial grain temperatures have a slight effect on the drying rate and fuel consumption. A difference of 30°C in the initial temperature results in a difference of about 10% in the time and fuel requirements. Changes in temperature occur very slowly in grain unless air is being blown through it, or heating is taking place.

Outside air temperatures have a very significant effect on fuel consumption. With a 25°C temperature rise (e.g., 15°C ambient air and 40°C dryer temperature) a change of 1°C in ambient air temperature changes the fuel consumption by 4%. With a 50°C temperature rise, a 1°C change in outdoor temperature changes the fuel consumption by 2%. Drying rates are not affected by the outdoor air temperature as long as the dryer and grain temperatures remain constant.

Passing the cooling air from a continuous-flow dryer through the burner and into the heating section results in a net improvement in fuel efficiency. The heat that is salvaged from the cooling process more than offsets the moisture gained and can yield fuel savings of 10 — 15%. The fan must have slightly increased capacity to move the same amount of air through the dryer.

Dryer Capacities

Dryer capacity is best expressed in terms of water removal rates, such as kilograms per hour (kg/h). Dryers used on prairie farms have widely varying rates, from less than 100 kg/h to over 1000 kg/h. Table 6 gives typical water removal rates and fuel usages for some of the common farm dryers when drying wheat from 18% to 14% at 15°C ambient air temperature.

Water removal rates with wheat, oats and barley are approximately the same if the same drying temperatures are used. Water removal from flax and rapeseed is about 20% slower at the same temperatures. Since wheat is commonly dried at a somewhat lower temperature than flax, oats and

TABLE 5. EFFECT OF INITIAL MOISTURE CONTENT (MC) ON DRYING RATES AND FUEL EFFICIENCIES

Dryer	Grain	Initial MC %	Water removal kg/h	Fuel usage kJ*/kg of water
A	Wheat	18.0	480	3050
		16.4	425	3200
B	Corn	26.2	530	3550
		22.9	510	3700
		18.7	465	4200
C	Corn	26.6	1110	3000
		22.7	850	3400

*kilojoules (assuming a net heat production of 20 000 kJ per litre of propane).

TABLE 6. TYPICAL WATER REMOVAL RATES AND FUEL USAGES

Dryer	Water removal kg/h	Drying rate t/h	Fuel usage kJ/kg of water
Recirculating batch, 13 m^3 volume	125	2.5	4000
Non-recirculating batch, 4.5 m^3	125	2.5	4500
Continuous-flow, 16 m^2 perforated dryer area	300	6.0	4000
Bin, 9.1 m dia overhead drying floor	500	10.0	3000

barley, the actual drying rates (in kg/h) are normally about equal for wheat and flax, and about 15% higher for oats and barley.

The amount of water that must be removed from grain to dry it is given in Table 7.

A dryer removing 200 kg/h would therefore dry about 2 t/h of grain from 22% to 14%.

Dryer Efficiencies and Costs

Fuel efficiencies are measured in terms of the amount of energy required to remove water. The units are kilojoules of energy per kilogram (kJ/kg) of water removed. A litre of propane will produce about 20 000 kJ of energy with good burner efficiency. A kilowatt hour (kWh) of electricity is equal to 3600 kJ. Typical fuel efficiencies for continuous-flow and batch dryers are approximately 4000 kJ/kg for wheat, oats, barley and corn. Some dryers with high airflows may require as much as 6000 kJ to remove a kilogram of water. Bin dryers normally use about 3000 kJ/kg.

Table 8 gives the fuel costs for removing water for dryers with various fuel efficiencies, and with various propane prices.

The cost of drying a tonne of grain, using a dryer with an efficiency rating of 3500 kJ/kg, is determined in the following example:

Grain being dried from 22% to 14%
Fuel price 20¢/L
Dryer fuel usage 3500 kJ/kg
Fuel cost = 103 kg/t (Table 7) x 3.50¢/kg (Table 8) = $3.60/t

If the dryer in the above example used 5000 kJ/kg, the fuel cost would be $5.15/t. If 200 tonnes per year are dried, the difference in total fuel cost would be only $310 per year. This amount would need to cover any additional capital costs (if any) for the more efficient dryer. If a dryer is to be used for drying large amounts of grain, fuel efficiency would become a more important factor. A more expensive dryer does not necessarily use less fuel. Some dryers with a low initial price are also the most fuel-efficient.

Once a dryer is purchased, the fixed costs (interest and depreciation) occur whether or not the dryer is used. The decision on whether or not to use the dryer in a particular year should, therefore, be based primarily on the operating cost rather than on the total cost.

Where a substantial increase in grain drying is anticipated, consideration should be given to the addition of a dryeration or combination drying process rather than to increasing the dryer size. Besides increasing the drying rate, this would decrease fuel costs and improve grain quality.

FIRES IN DRYERS

With any crop, fires can occur in dryers if dirt and residue accumulate in the burner area. However, fires are not common, except when sunflowers are being dried. Sunflower seeds often have fuzz attached to them which is released in the drying process (particularly with recirculating batch dryers). If this material is drawn through the fan and burner, it can ignite and start a fire in the dryer. Anything that will reduce the chances of the material being drawn through the burner will help to reduce the risk of fire. This includes cleaning to remove any light or fine material from the seed before drying, and the provision of wind deflectors

TABLE 7. AMOUNT OF WATER REMOVED WHEN DRYING GRAIN

Final MC	kg/t* removed from grain with an initial MC of							
	16%	18%	20%	22%	24%	26%	28%	30%
14%	24	49	75	103	132	162	194	229
10%	71	98	125	154	184	—	—	—

*tonne of grain at the final moisture content

TABLE 8. FUEL COST FOR REMOVING WATER (¢/kg)

Fuel usage (kJ/kg)	Fuel price (¢/L)			
	18	20	22	24
2500	2.25	2.50	2.75	3.00
3000	2.70	3.00	3.30	3.60
3500	3.15	3.50	3.85	4.20
4000	3.60	4.00	4.40	4.80
4500	4.05	4.50	4.95	5.40
5000	4.50	5.00	5.50	6.00
5500	4.95	5.50	6.05	6.60
6000	5.40	6.00	6.60	7.20

to prevent airborne material from being drawn through the burner. Also, dust and fuzz should not be allowed to accumulate on the walls and other parts of the dryer.

The chance of fire will also be lessened by ensuring that the seed is not overdried and that the temperature of the drying air is not too high. Hot and overdried seeds are more easily ignited by the burning fuzz. High air temperatures by themselves are not usually the cause of fires when drying sunflowers. Even where drying temperatures were below 40°C, fires have occurred when fuzz particles were drawn through the burner and ignited.

In spite of all precautions, it is advisable to remain near the dryer and to be alert for signs of fire whenever sunflower seeds are being dried, especially near the end of the heating cycle. If a fire occurs, shut off the heat and fan. The fire may snuff itself out in a recirculating dryer if the auger is left running, but it is often necessary to use some water to extinguish it.

A number of fires have also occurred when drying rapeseed and other crops. Precautions similar to those recommended for drying sunflowers should be followed.

Nearly every fall there are a number of warm, dry days when drying is possible without the use of heat. On such days, putting sunflowers or rapeseed through a dryer without starting the burner can result in very low cost drying, and eliminate any chances of burner-induced fires.

APPENDIX

Drying Charts for Bin Drying
(Tables courtesy of Westeel Rosco)

FLAX, MUSTARD AND RAPESEED (Final moisture 10%)

Dryer size	Initial moisture %	Flax			Mustard or rapeseed		
		Depth m	Volume m^3	Time h	Depth m	Volume m^3	Time h
5.8 m DIA BIN			40°C			40°C	
3.75 kW motor	22	0.45	12	19	0.6	16	17
	20	0.6	16	21	0.9	24	21
	18	0.9	24	23	1.2	32	26
	16	0.9	24	21	1.35	36	25
	14	0.9	24	17	1.5	40	22
5.4 kW motor	22	0.6	16	19	0.9	24	19
	20	0.6	16	17	1.05	28	20.5
	18	0.9	24	21	1.2	32	21
	16	0.9	24	19	1.5	40	25
	14	0.9	24	13	1.8	48	23
9.3 kW motor	22	0.9	24	21	1.05	28	21
	20	0.9	24	19	1.2	32	20
	18	0.9	24	18	1.5	40	23
	16	1.2*	32	21	1.8	48	21
	14	1.2*	32	17	2.1	56	19
5.8 m DIA BIN (With twin-screw stirring devices)			55°C			45°C	
3.75 kW motor	22	0.9	24	23	1.5	40	36
	20	0.9	24	23	1.8	48	32
	18	0.9	24	22	2.25*	60	30
	16	1.2*	32	19	2.25*	60	45
	14	1.2*	32	15	2.25*	60	20
5.4 kW motor	22	0.9	24	23	1.5	40	32
	20	0.9	24	21	1.8	48	28
	18	1.2	32	24	2.4	64	30
	16	1.2	32	18	2.7*	72	34
	14	1.2	32	14	2.7*	72	32
9.3 kW motor	22	1.35	36	25	1.65	44	31
	20	1.35	36	24	1.95	52	30
	18	1.5	40	23	2.4	64	26
	16	1.8*	48	21	3.0*	80	29
	14	1.8*	48	19	3.0*	80	22

*Depths shown are maximum recommended because of static pressure limitations of the fan.

WHEAT, BARLEY AND OATS (Final moisture 14%)

Dryer size	Initial moisture %	Wheat Depth m	Wheat Volume m^3	Wheat Time h	Barley or oats Depth m	Barley or oats Volume m^3	Barley or oats Time h
½-day fill							
5.8 m DIA BIN			55°C			55°C	
3.75 kW motor	24	0.6	16	7.5	0.9	24	10.5
	22	0.9	24	9.5	1.2	32	11.5
	20	1.2	32	10.0	1.5	40	11.5
	18	1.5	40	9.5	1.8	48	10.0
	16	1.6	48	8.0	2.1	56	7.0
5.4 kW motor	24	0.6	16	6.5	0.9	24	9.5
	22	0.9	24	8.5	1.2	32	10.0
	20	1.2	32	8.0	1.5	40	10.0
	18	1.5	40	8.5	2.1	56	9.5
	16	2.1	56	8.0	2.4	64	8.0
9.3 kW motor	24	0.9	24	9.0	1.2	32	10.0
	22	1.2	32	9.5	1.5	40	9.0
	20	1.5	40	9.0	1.8	48	9.5
	18	1.8	48	9.0	2.1	56	8.5
	16	2.4	64	7.5	2.7	72	7.0
1-day fill							
5.8 m DIA BIN			40°C			40°C	
3.75 kW motor	24	0.9	24	19	1.2	32	23
	22	1.2	32	21	1.5	40	22
	20	1.5	40	22	1.8	48	22
	18	2.1	56	21	2.7	72	25
	16	3.0	80	18	3.6	96	18
5.4 kW motor	24	1.05	28	21	1.2	32	21
	22	1.35	36	23	1.5	40	20
	20	1.65	44	22	2.1	56	23
	18	2.25	60	21	2.7	72	22
	16	3.3	80	17	3.9	104	18
9.3 kW motor	24	1.2	32	23	1.35	36	21
	22	1.5	40	24	1.65	44	22
	20	2.1	56	23	2.4	64	24
	18	2.7	72	25	3.0	80	25
	16	3.6	96	18	4.2	112	19

WHEAT, BARLEY AND OATS (with twin-screw stirring devices; final moisture 14%)

Dryer size	Initial moisture %	Wheat			Barley or oats		
		Depth m	Volume m^3	Time h	Depth m	Volume m^3	Time h
5.8 m DIA BIN			55°C			55°C	
3.75 kW motor	24	1.65	44	23	1.9	50	23
	22	1.9	51	22	2.25	60	22
	20	2.4	64	21	2.8	75	22
	18	3.1	82	22	3.7	99	22
	16	3.3	88	15	4.35	116	17
5.4 kW motor	24	1.8	48	22	2.1	56	24
	22	2.1	56	21	2.25	60	22
	20	2.55	68	21	3.05	82	21
	18	3.3	88	21	4.05	108	22
	16	3.9	104	16	4.35	116	15
9.3 kW motor	24	1.95	52	23	2.3	61	24
	22	2.3	61	22	2.7	72	22
	20	2.75	74	21	3.3	88	22
	18	3.6	95	20	4.3	114	22
	16	4.35	116	17	4.35	116	14

SHELLED CORN (Final moisture 13%)

Dryer size	Initial moisture %	60°C		75°C (use stirring device)	
		Volume m^3	Depth m	Volume m^3	Depth m
5.8 m DIA BIN					
5.4 kW motor	30	35*	1.3	43	1.6
	25	45	1.7	62	2.3
	20	70	2.65	96	3.6
9.3 kW motor	30	35	1.3	49	1.8
	25	48	1.8	66	2.5
	20	78	2.9	107	4.0

*Based on 21 hours drying time. All other capacities based on 18 hours drying and 2 hours cooling time. At drying temperatures over 60°C, a stirring device should be used. For more-even drying it may be used at temperatures of 60°C or less. Drying rates are based on outside air of 10°C—65% RH. These rates may vary under other conditions.

The federal and Manitoba Departments of Agriculture have not checked the drying rates indicated and are not responsible for deviations from these figures.

ACKNOWLEDGMENTS

The author expresses his appreciation to the following for their assistance in preparing this publication:

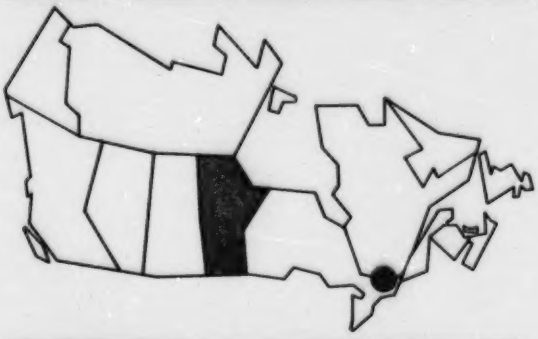
Lorne Parker, Ste. Agathe, Manitoba
Franklin Voth, Manitou, Manitoba
Grant Henry, Pioneer Grain Co. Ltd., Winnipeg, Manitoba
Alan Roberts, Ag-tech Consultants, Elie, Manitoba
Murray Green, Alberta Department of Agriculture
Paul Barlott, Alberta Department of Agriculture
Bob Brad, Saskatchewan Department of Agriculture
Roy Button, Saskatchewan Department of Agriculture
Tony Protz, Saskatchewan Department of Agriculture
Paul Gebhardt, Saskatchewan Department of Agriculture
Eric Moysey, University of Saskatchewan
Bill Muir, University of Manitoba
Eldon Norum, University of Saskatchewan

SÉCHOIRS À GRAINS À AIR CHAUD

PUBLICATION 1700

Agriculture
Canada

PUBLICATION FÉDÉRALE/PROVINCIALE



CANADA-MANITOBA

SÉCHOIRS À GRAINS À AIR CHAUD

O. H. FRIESEN, ingénieur agricole
Manitoba Agriculture
Winnipeg (Manitoba)

La présente publication a été rédigée par Manitoba Agriculture. Agriculture Canada, conformément aux dispositions du Comité fédéral-provincial de coopération régionale des publications agricoles, a accepté de la publier.

PUBLICATION 1700, on peut obtenir des exemplaires à la Direction générale des communications, Agriculture Canada, Ottawa K1A 0C7

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1982
N° de cat. A53—1700/1980F ISBN: 0-662-90609-8
Impression 1980 3M—6:82

Also available in English.

Table des matières

Avantages du séchage des grains 3

Teneur en eau du grain 4

- Durées maximales de conservation du grain humide 4
- Teneurs en eau maximales de conservation 4
- Migration de l'humidité 4
- Humidimètres 6
- Réabsorption d'humidité .....

Effets des conditions atmosphériques sur le séchage 6

- Humidité relative 6
- Vent et soleil 6
- Températures de l'air ambiant 7

Températures maximales de séchage 7

- Repérage de la température 8
- Tests d'échauffement 9

Systèmes de manutention des grains adaptés aux séchoirs 9

Types de séchoirs 10

- Cellules sécheuses 10
  - Séchage discontinu en cellule 11
  - Trémies de séchage suspendues 13
  - Vis de brassage 13
  - Dispositifs de recirculation et de mélange continu des grains 14
- Séchoirs mobiles 14
  - Séchoirs discontinus 14
    - Type sans recirculation 15
    - Type à recirculation 16
  - Séchoirs continus 16

Séchage par étapes 18

- Aéroséchage (refroidissement lent différé) 18
- Séchage combiné 19

Ventilation 20

Vitesse et efficacité du séchage 20

- Capacité des séchoirs 21
- Efficacité des séchoirs et coûts 22

Incendies dans les séchoirs 23

Annexe 24

Remerciements 27

SÉCHOIRS À GRAINS À AIR CHAUD

La présente publication examine les principes et les difficultés qui se rattachent au séchage du grain, ainsi que les caractéristiques des types courants de séchoirs. Toutefois, elle ne donne pas le mode d'emploi des divers modèles et marques de séchoirs, car ce sujet et les renseignements sur les aspects particuliers du réglage et de la sécurité figurent dans le manuel d'emploi et d'entretien. Lire attentivement ce manuel et s'assurer que le séchoir répond à toutes les normes fédérales et provinciales de sécurité. Il doit être approuvé par les Associations canadiennes de normalisation ou du gaz, ou faire l'objet d'une acceptation spéciale du ministère provincial du Travail concerné.

AVANTAGES DU SÉCHAGE DES GRAINS

Le séchage des grains est de plus en plus répandu dans les Prairies canadiennes. Au lieu de ne sécher le grain qu'en saison de moisson très pluvieuse, beaucoup de céréaliculteurs utilisent maintenant un séchoir comme partie intégrante de leur système habituel de moisson. Cette façon de procéder présente un certain nombre d'avantages:

Prolongation de la saison de moisson—L'utilisation d'un séchoir à grains permet non seulement de prolonger les heures de récolte, matin et soir, mais de profiter de plusieurs jours supplémentaires de moisson chaque année. Le nombre d'heures de récolte disponibles s'accroît ainsi sensiblement dans la plupart des régions, ce qui est susceptible de réduire l'investissement global en machines. En effet, il serait possible d'utiliser une plus petite moissonneuse-batteuse et un séchoir au lieu d'acheter une seconde moissonneuse-batteuse ou de l'échanger pour une plus grosse. Pour l'agriculteur qui compte sur la récolte à l'entreprise, le séchoir peut s'avérer utile car il permet de hâter la récolte. Quelle que soit la moissonneuse-batteuse, on peut moissonner plus de céréales lorsqu'un séchoir est intégré au système de récolte.

Moisson précoce—L'utilisation d'un séchoir permet de hâter la récolte. Le blé, l'avoine et l'orge peuvent être battus à 20% d'humidité, puis séchés, sans diminuer la qualité, le pouvoir germinatif et le classement. Par comparaison avec le récolte à 14% d'humidité, cette façon de procéder hâte la récolte de 1 ou 2 jours à la mi-août, et même de 4 jours ou plus à la mi-septembre. Lorsque survient une vague de temps pluvieux, ces différences peuvent être encore beaucoup plus grandes. Une récolte précoce permet de moissonner lorsque la teneur en humidité du grain sec est plus près de la limite maximum, ce qui donne le poids le plus élevé pour le grain marchand et permet au producteur de mieux combattre les mauvaises herbes par l'application d'herbicides et par le travail du sol en temps opportun.

Réduction des pertes au champ—La récolte aux stades des grains gourds[1] ou humides[2] permet de réduire les dégâts causés par les intempéries et les pertes dues à la faune. Le déclassement d'une seule catégorie peut signifier une baisse de 5% du prix et de 5% du poids, soit une perte combinée de 10%. Par conséquent, récolter avant une vague de temps pluvieux, plutôt qu'après, peut représenter des économies considérables. Une récolte précoce peut également prévenir le surséchage des cultures au champ, cause d'égrenage et de pertes. Le moissonnage-battage de certaines cultures comme le tournesol et le maïs est une nécessité et les pertes au champ sont considérablement réduites lorsqu'elles sont récoltées humides. L'utilisation d'un séchoir dans le système de récolte rend également possible le moissonnage-battage d'autres cultures. Le remplacement d'une andaineuse par un séchoir est donc une solution de rechange qui mérite d'être envisagée.

Élimination du gaspillage des grains stockés—Lorsque du grain gourd ou humide est récolté et n'est pas séché immédiatement, la conservation à long terme donne fréquemment lieu à du gaspillage. La migration de l'humidité dans les cellules à grains peuvent rendre impropre au stockage du grain légèrement gourd ou même sec. Un séchage approprié et une bonne aération peuvent réduire ou même éliminer les problèmes de gaspillage attribuables aux points d'échauffement et aux infestations d'insectes.

Le coût d'achat d'un séchoir à grains constitue l'un des éléments les plus importants de dissuasion des céréaliculteurs. Lorsque les quantités de grains à sécher chaque année sont faibles, le coût initial du séchoir devrait être le principal facteur à considérer (voir la partie *Coûts du séchage*), mais pour de grandes quantités, le rendement du combustible revêt encore plus d'importance.

La main-d'œuvre nécessaire et l'embarras du séchage sont également de nature à dissuader beaucoup d'agriculteurs qui ne possèdent pas d'installations centrales de stockage. Pour tirer le maximum d'un séchoir, il faut établir un système bien structuré de manutention et de stockage des grains.

Compte tenu des variations climatiques, toutes les régions ne ressentent pas au même degré le besoin de séchoirs. La figure 1 montre certaines régions des Prairies dont l'évaporation nette est identique pour le mois de septembre. Ces statistiques s'appuient sur des données météorologiques à long terme du Service de l'environnement atmosphérique d'Environnement Canada. Les données de chaque année peuvent s'écarter légèrement des

[1] Taux d'humidité équivalent ou supérieur aux données du tableau 1, jusqu'à concurrence de 17%.
[2] Taux d'humidité dépassant 17% pour les céréales et 13% pour les oléagineux.

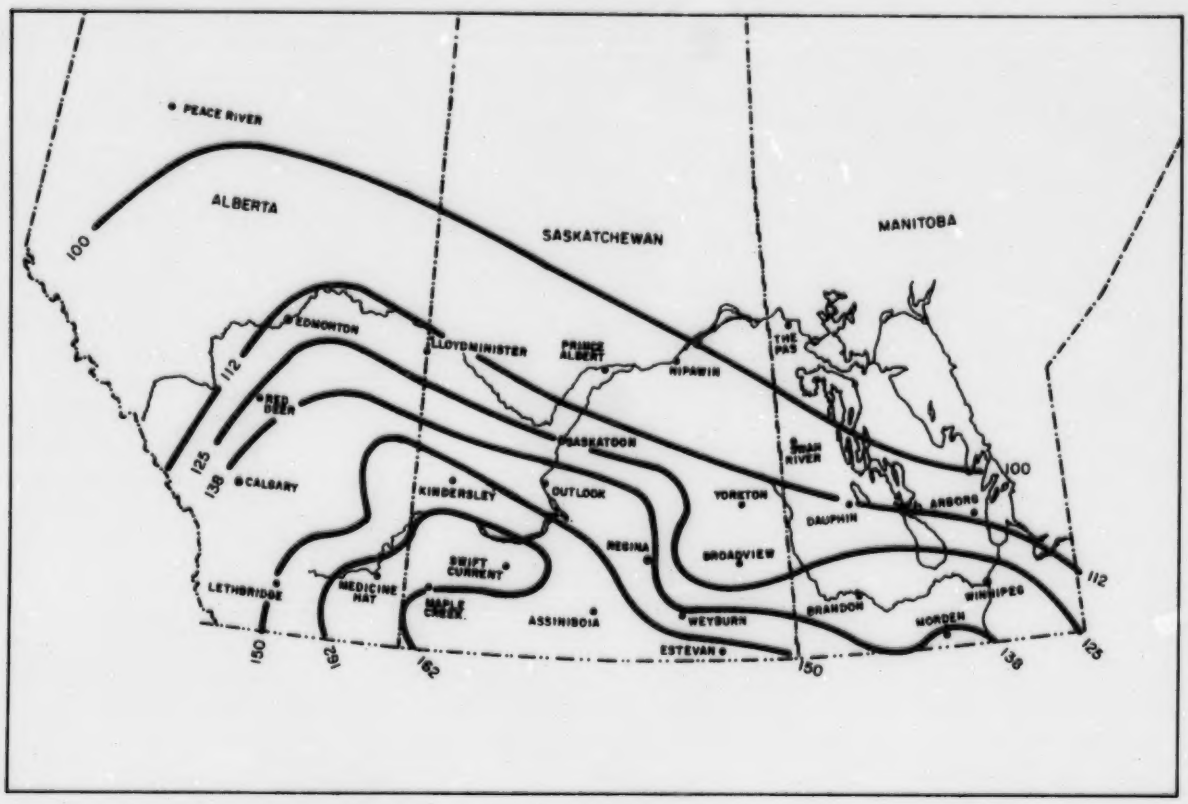


Figure 1. Évaporation nette à long terme (mm) en septembre.

moyennes à long terme. Les caractéristiques physiques d'une région (lacs, collines et boisés), peuvent également provoquer des variations marquées du régime climatique. Mais en règle générale, la nécessité de sécher le grain dans les Prairies s'accroît en allant du sud-ouest vers le nord-est. Dans les régions les plus sèches, il se peut qu'un séchoir ne soit nécessaire qu'une année sur dix pour le blé, l'avoine et l'orge, alors que dans les régions les plus septentrionales, ce peut être exactement l'inverse. Pour la vente commerciale du maïs grain, un séchoir est absolument nécessaire dans toutes les régions. Le tournesol, le colza et plusieurs autres cultures doivent également être récoltés humides chaque année pour minimiser les pertes au champ et à la moisson.

TENEUR EN EAU DU GRAIN

Durées maximales de conservation du grain humide

La durée de conservation du grain humide avant séchage dépend de la température et de son degré d'humidité. Les figures 2, 3 et 4 présentent des durées estimatives pour diverses cultures et conditions. À noter que lorsque commence l'échauffement, le gaspillage dû au développement des moisissures et à l'infestation des insectes ravageurs augmente rapidement. Il faut donc surveiller étroitement la température du grain humide pour assurer une bonne conservations, même lorsque les températures de l'air sont de beaucoup inférieures à 0°C.

Teneurs en eau maximales de conservation

Le tableau 1 présente les teneurs en eau maximales à ne pas dépasser pour assurer une bonne conservation au cours du premier hiver.

Le grain mis en cellule par temps chaud ou contenant des matières humides (vertes) peut chauffer, même aux degrés d'humidité présentés au tableau 1. Il peut arriver que le stockage ou la conservation à long terme de cultures spéciales nécessite des teneurs en eau plus faibles que celles mentionnées.

Migration de l'humidité

Le grain entreposé au degré d'humidité «sûr» maximum (ou près de ce niveau) peut former des poches d'échauffement locales dues à la migration de l'humidité. Ce phénomène est causé par des variations de températures de l'air extérieur qui provoquent des courants de convection dans la

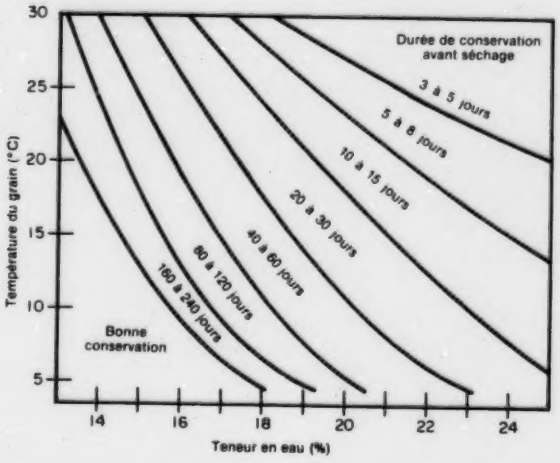


Figure 2. Effet de la température et de la teneur en eau sur la durée de stockage recommandée pour le blé, l'avoine et l'orge.

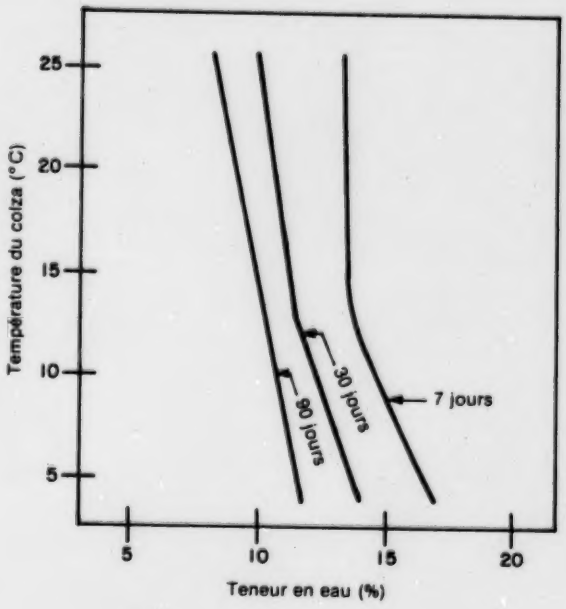


Figure 3. Effet de la température et de la teneur en eau sur la durée de stockage recommandée pour le colza continuellement ventilé.

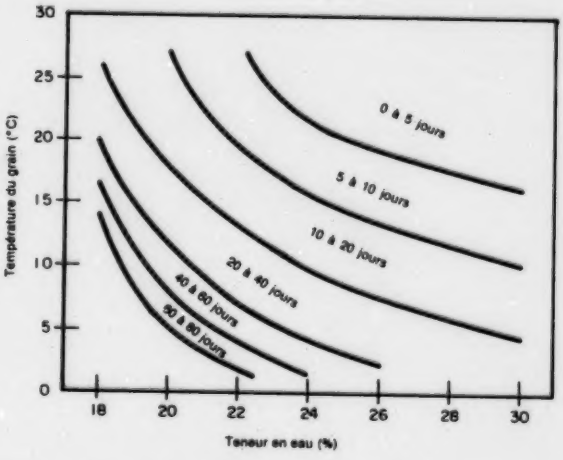


Figure 4. Effet de la température et de la teneur en eau sur la durée du stockage recommandée pour le maïs.

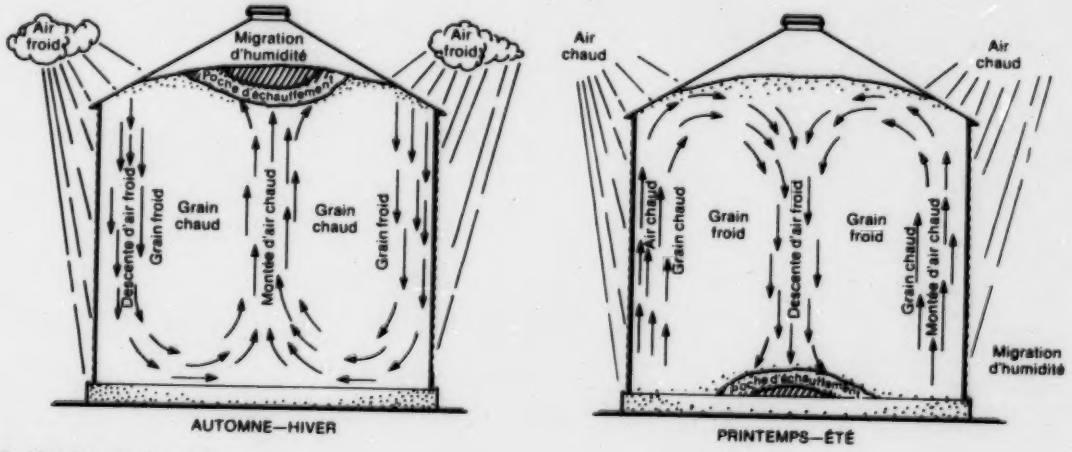


Figure 5. Migration de l'humidité.

cellule (figure 5), ce qui peut entraîner des pertes de grain près de la partie supérieure centrale de la cellule en hiver, ou inférieure centrale en été. La migration de l'humidité est plus prononcée quand le grain est stocké chaud et lorsque les cellules sont spacieuses. Le système de ventilation peut prévenir ces problèmes en maintenant une température et un degré d'humidité uniformes dans toute la cellule. Toute cellule devant servir au refroidissement du grain ou d'une capacité de 100 m^3 ou plus devrait être pourvue d'un système de ventilation (voir la partie *Ventilation*).

Humidimètres

On trouve sur le marché divers types d'humidimètres, plus ou moins précis et fidèles. Certains ne sont raisonnablement précis que près du stade du grain «sec» et le deviennent de moins en moins au fur et à mesure que la teneur en eau augmente. D'autres sont très précis pour un type de grain et très aléatoires pour d'autres. Quelques-uns sont très fiables pour la plupart des grains et pour une grande amplitude de degrés d'humidité. Pour obtenir de plus amples informations sur les divers humidimètres disponibles, on peut s'adresser à l'Institut des machines agricoles des Prairies, à Humboldt en Saskatchewan, ou à la Commission canadienne des grains, Winnipeg (Manitoba).

Réabsorption d'humidité

Dans les cas de séchage rapide du grain (par exemple une baisse de 6% d'humidité en 2 heures ou moins) en séchoir, le phénomène de réhumidification se rencontre couramment. Le grain qui sort du séchoir peut paraître sec, mais après quelques jours de stockage, il peut reprendre 1 ou même 1,5% d'humidité. Cette réhumidification est provoquée par la différence dans la teneur en eau des grains et le type d'humidimètre utilisé. L'extérieur du grain sèche plus rapidement que l'intérieur et donne donc, tout de suite après le séchage, une lecture plus basse de la teneur en eau. Lorsque l'humidité devient uniforme, l'humidimètre donnera une lecture légèrement supérieure aux résultats précédents. La solution des problèmes de cette nature consiste habituellement à sécher préalablement le grain d'environ 1% de plus, mais il faut éviter à tout prix de ne pas sursécher la totalité du grain. Plus la teneur en eau est faible, plus le grain est sensible à l'échauffement. En outre, le sursséchage exige plus de temps et de combustible, et entraîne une baisse inutile du poids du grain. Un sursséchage de 2% représente une baisse de 2,5% du poids et de la valeur marchande.

Lors du testage de grain chaud provenant d'un séchoir, placer immédiatement l'échantillon dans un sac en plastique pour prévenir toute perte d'humidité et laisser refroidir à la température ambiante avant le test.

EFFETS DES CONDITIONS ATMOSPHÉRIQUES SUR LE SÉCHAGE

Humidité relative

Le séchage naturel du grain se produit lorsque l'humidité relative de l'air est inférieure à la teneur en eau du grain au point d'équilibre. Si l'humidité relative est supérieure à la teneur en eau au point d'équilibre, le grain absorbe l'humidité. Le tableau 2 présente les teneurs en eau au point d'équilibre de certains oléagineux et céréales.

Lorsque le séchage s'effectue à l'air ambiant (ventilation froide), l'humidité relative de l'air a un effet considérable sur la vitesse de séchage. Mais si l'air est chauffé, l'humidité relative tombe rapidement et si la température atteint ou dépasse 30°C, l'humidité relative initiale peut être à toutes fins pratiques ignorée. Lorsqu'on chauffe à 65°C de l'air à 15°C et 100% d'humidité relative, celle-ci n'aura que 7%. Même s'il n'est chauffé qu'à 45°C, l'air à 15°C ne dépassera pas 20 % d'humidité relative. Ce n'est que lorsque des températures initiales de l'air assez élevées (plus de 20°C) coïncident avec une forte humidité relative et de basses températures de séchage (moins de 40°C) que l'humidité relative pose un problème pour le séchage.

Vent et soleil

Pour comprendre les effets du vent et du soleil sur le séchage des grains, il faut connaître le fonctionnement du séchoir. Pour la plupart des séchoirs continus et discontinus à commande d'arrêt automatique, la durée du séchage est réglée par un thermostat situé à l'extérieur de la colonne de grain. Lorsque la température du grain atteint la valeur réglée d'avance, le mécanisme de vidange est mis

TABLEAU 1. TENEURS EN EAU MAXIMALES DE CONSERVATION

Blé	14,5%	Colza	8,5%
Orge	14,8	Maïs	15,5
Avoine	14,0	Pois	16,0
Seigle	14,0	Tournesol	9,5
Lin	10,5	Moutarde	11,0
Sarrasin	16,0	Millet	12,0

TABLEAU 2. TENEUR EN EAU AU POINT D'ÉQUILIBRE DE DIVERS OLÉAGINEUX ET CÉRÉALES

Humidité relative de l'air	Céréales		Oléagineux	
	à 25°C	à 10°C	à 25°C	à 10°C
58%	12%	13%	7,5%	8,5%
65	13	14	8,4	9,4
71	14	15	9,3	10,3
76	15	16	10,2	11,2
80	16	17	11,2	12,2
83	17	18	12,2	13,2
85	18	19	13,2	14,2

en marche ou, dans un séchoir discontinu, l'arrivée d'air chaud est coupée.

Le vent et le soleil peuvent avoir un effet sur les thermostats non protégés placés à l'extérieur du séchoir. Le vent froid qui souffle sur un thermostat retardera son déclenchement, pouvant ainsi entraîner un surséchage même si le thermostat est réglé à la température voulue. Dans un séchoir à deux colonnes, chacune commandée par son propre thermostat, un même réglage produira une circulation plus rapide dans une colonne que dans l'autre si le vent souffle sur l'une d'elles. En pareil cas, on conclut souvent à tort que le côté exposé au vent sèche beaucoup plus lentement. Mais il n'en est rien, puisque la pression créée par le vent est négligeable si on la compare à la pression qui existe à l'intérieur du séchoir (les séchoirs fonctionnent fréquemment à une pression statique de 750 à 1000 Pa, tandis qu'un vent de 30 km/h ne crée qu'une pression de 50 Pa). L'effet du vent sur le thermostat de la colonne exposée au vent peut provoquer un surséchage du grain au point qu'il risque fort d'être avarié. On peut parer à cette éventualité grâce aux mesures suivantes: (1) protéger le thermostat du vent, (2) régler le fonctionnement des deux vis de vidange à partir du thermostat situé à l'abri du vent ou (3) faire fonctionner mécaniquement la vis de vidange exposée au vent à une vitesse égale à celle de la vis à l'abri du vent.

Il n'est pas nécessaire d'abriter le séchoir car le vent comme tel ne nuit pratiquement pas à son fonctionnement. Une telle protection peut au contraire être préjudiciable en provoquant le retour d'air humide vers le séchoir et ajoutant à l'inconfort de l'exploitant qui est obligé de travailler dans un tourbillon d'air humide et de débris. Beaucoup de séchoirs non protégés et exposés à des vents allant jusqu'à 50 km/h ont donné des résultats entièrement satisfaisants.

L'effet du soleil sur les thermostats est contraire à celui du vent. Le thermostat exposé au soleil occasionnera un écoulement plus rapide du grain que celui situé du côté ombragé. Il faut régler les thermostats non protégés selon les variations des conditions atmosphériques pour empêcher le surséchage ou le sous-séchage. L'effet du vent et du soleil sur le rendement réel du séchoir reste à toutes fins pratiques négligeable.

Températures de l'air ambiant

Les variations de température de l'air ambiant n'ont que peu d'effet sur la vitesse de séchage lorsque la température de l'air insufflé demeure constante, mais elles influent sensiblement sur la consommation de combustible. Le tableau 3 présente les consommations relatives de combustible nécessaires au maintien d'une température de séchage de 65°C.

Il va de sans dire que le séchage effectué au début de l'automne coûte beaucoup moins cher que le séchage en hiver et permet au producteur de profiter d'un plus grand nombre d'avantages inhérents au séchage. Lorsque les températures de l'air ambiant sont élevées, les températures initiales du grain sont également élevées, ce qui réduit d'autant les coûts du combustible et les durées de séchage. Il peut arriver que par temps très froid, les brûleurs de certains séchoirs ne suffisent pas à produire des températures assez élevées dans la chambre de répartition d'air chaud.

TEMPÉRATURES MAXIMALES DE SÉCHAGE

L'élévation de la température de l'air insufflé accroît la vitesse de séchage du grain, mais une température trop élevée peut endommager le grain. Ces avaries se rencontrent plus souvent lorsque le grain est sec ou presque. Le grain humide demeure relativement frais en raison de l'évaporation refroidissante qui se produit lorsqu'il y a libération d'humidité. Au fur et à mesure que le grain sèche, l'évaporation ralentit et la température du grain s'élève. Il se peut qu'au cours du séchage, une partie du grain atteigne la même température que l'air séchant. Pour empêcher l'altération du grain, il importe que la température maximale de l'air ne

dépasse pas la température maximale permise pour le type de grain en question. Le tableau 4 présente les températures maximales de séchage de divers oléagineux et céréales.

Les températures données au tableau 4 sont valables à condition que le degré d'humidité après séchage ne soit pas inférieur à 1% du seuil de sécurité applicable au stockage (tableau 1) et pourvu que l'extraction de l'humidité ne dépasse pas 6% pour chaque passage dans un séchoir ultra-rapide. Dans les séchoirs où le grain est exposé à la chaleur pendant de longues périodes (comme les séchoirs à cellules sans recirculation des grains), mieux vaut utiliser des températures de 5 à 10°C inférieures à celles recommandées pour les séchoirs commerciaux. Cela est particulièrement important pour le séchage du colza, puisqu'une longue exposition à de fortes températures influe sur la qualité de l'huile d'extraction.

Des températures de l'air supérieures à celles figurant au tableau 4 sont sûres, moyennant certaines conditions. Lorsque le grain est très humide, des températures de l'air de 20°C supérieures à celles indiquées peuvent être utilisées sans danger au début du séchage, puisque l'évaporation refroidissante maintient le grain à des températures relativement basses. Mais à mesure que le grain approche du stade «gourd», il importe que les températures soient abaissées à celles figurant au tableau 4, ou même en deça. Cette opération peut se faire manuellement ou par l'utilisation de minuteries dans les séchoirs discontinus. Pour les séchoirs continus à courant transversal (c'est un séchoir dans lequel l'écoulement de l'air est perpendiculaire à celui du grain) et pourvus d'un seul compartiment de séchage, il ne faudrait pas dépasser les températures indiquées au tableau 4. D'autres types de séchoirs continus peuvent utiliser des températures légèrement plus élevées, mais il faut vérifier le grain séché pour voir s'il n'est pas endommagé.

Repérage de la température

Une difficulté couramment rencontrée dans le séchage du grain est le repérage inexact des températures. Les thermomètres peuvent être endommagés ou parfois mal situés, et ne pourront donc indiquer la température la plus élevée de l'air dans la chambre de répartition d'air chaud. Il en résulte souvent des altérations du grain même si, d'après les lectures, la température s'est maintenue dans les limites prescrites. Le meilleur moyen de parer à cette éventualité est d'utiliser des thermomètres supplémentaires dans la chambre de répartition et de vérifier la température réelle du grain situé le plus près possible de celle-ci au moyen d'une thermosonde. Il existe divers types d'indicateurs de température, mais ce sont les thermomètres à dilatation

TABLEAU 3. CONSOMMATIONS RELATIVES DE COMBUSTIBLE À DIVERSES TEMPÉRATURES AMBIANTES

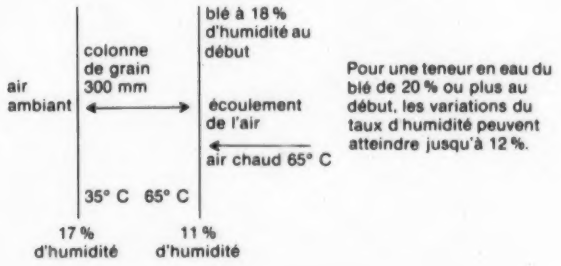
Température de l'air ambiant	Consommation relative de combustible
15°C	1
-7°C	1,5
-30°C	2

TABLEAU 4. TEMPÉRATURES MAXIMALES DE SÉCHAGE

	Semence ou maltage	Usage commercial	Aliments du bétail
Blé	60°C	65°C	80-100°C
Avoine	50	60	80-100
Orge	45	55	80-100
Seigle	45	60	80-100
Maïs	45	60	90-100
Lin	45	80	80-100
Colza	45	65	—
Pois	45	70	80-100
Moutarde	45	60	—
Tournesol	45	50	—
Sarrasin	45	45	—

de gaz qui sont les plus couramment utilisés dans les séchoirs. On peut s'en procurer chez les commerçants de séchoirs ou les fournisseurs de thermomètres dans les grandes villes.

Pour mesurer les températures du grain, il importe de connaître l'emplacement exact de la boule de détection de la température dans la colonne de grain. Le diagramme suivant montre les variations typiques de température et d'humidité qui surviennent dans un séchoir discontinu ou continu statique. La boule de détection pourrait donner une lecture situé n'importe où entre 35 et 65°C, selon son emplacement dans la colonne de grain.


blé à 18 % d'humidité au début
colonne de grain 300 mm
air ambiant
écoulement de l'air
air chaud 65° C
Pour une teneur en eau du blé de 20 % ou plus au début, les variations du taux d humidité peuvent atteindre jusqu'à 12 %.
35° C 65° C
17 % d'humidité
11 % d'humidité

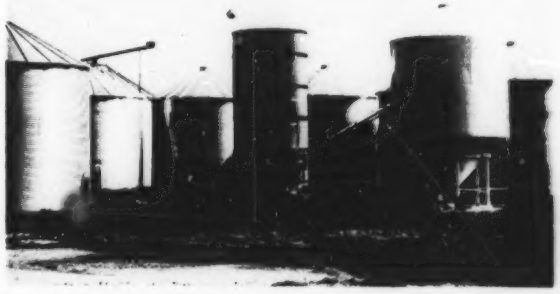
Les différences de température et d'humidité qui existent dans les séchoirs discontinus à recirculation sont généralement moins grandes que celles des séchoirs discontinus ou continus statiques. Des débits d'air plus faibles (comme ceux utilisés pour le colza ou le lin) accentuent ces différences, alors que des débits plus élevés les atténuent. Puisque les indicateurs de température du grain peuvent être situés n'importe où dans la colonne de grain, il ne faudrait pas considérer ces lectures comme des températures idéales de séchage.

Tests d'échauffement

Divers tests peuvent être effectués pour trouver les plus fortes températures de séchage acceptables pour une céréale et un séchoir particuliers. Si les grains doivent servir de semence, il faut effectuer un essai de germination. L'analyse d'un échantillon de grain avant le séchage permettra en outre de vérifier si le taux de germination change au cours du séchage. La Commission canadienne des grains teste gratuitement d'autres céréales commerciales (blé meunier, orge maltière et oléagineux) à l'égard de l'échauffement. À cette fin, il faut expédier deux échantillons (minimum de 500 g chacun), l'un prélevé avant et l'autre après le séchage, au Laboratoire de recherche sur les céréales de la Commission canadienne des grains, à Winnipeg (Manitoba). Les échantillons doivent être représentatifs du grain qui entre dans le séchoir et qui en sort. Si la qualité est demeurée stable, on peut essayer une température supérieure à la précédente, mais il faut alors envoyer deux autres échantillons pour fins d'analyse. Plusieurs sociétés qui achètent des oléagineux, du maïs et des graines de semence effectuent également des tests à l'égard de l'échauffement. S'assurer que le grain séché répond aux normes de l'acheteur au début du séchage, et non après.

SYSTÈMES DE MANUTENTION ET D'ENTREPOSAGE DES GRAINS

Un système efficace de manutention des grains est l'un des facteurs les plus importants à considérer dans le séchage du grain. Si le séchage du grain au cours de la récolte crée des goulots d'étranglement, des contretemps et des problèmes de main-d'œuvre, on aura plutôt tendance à n'y recourir que comme mesure d'urgence. Bien des avantages inhérents au séchage seront alors sacrifiés. Le système de manutention des grains devrait donc être aménagé de façon à réduire au minimum le surcroît de travail nécessaire au fonctionnement du séchoir. Ça ne devrait prendre que quelques minutes pour passer de l'étape du séchage à celle du non-séchage et inversement. Le système de séchage et de stockage devrait être agencé de telle sorte que le grain provenant du séchoir puisse être transvidé directement dans une cellule de refroidissement sans être chargé dans un camion. Toutes les grandes cellules de stockage devraient être munies de systèmes de ventilation pour assurer une bonne conservation.



Séchoir continu et disposition de stockage semi-circulaire.

Le grain humide provenant du champ sera normalement placé dans une cellule de trop plein pour faciliter le déchargement et permettre au camion de retourner aussitôt dans le champ. Le séchoir est ensuite alimenté de grain humide, selon les besoins, à même la cellule de trop plein. Celle-ci devrait être suffisamment grande pour contenir environ la moitié de la récolte d'une journée. Cette capacité suffit pour un séchoir deux fois moins rapide que la vitesse de récolte et fonctionnant deux fois plus longtemps par jour que la moissonneuse-batteuse. Selon la technique de séchage et la capacité du séchoir, il se peut qu'une cellule de trop plein pour grain humide ne soit pas nécessaire si on utilise une cellule sécheuse.

Il existe plusieurs aménagements possibles des cellules pour faciliter le transvidage des grains du

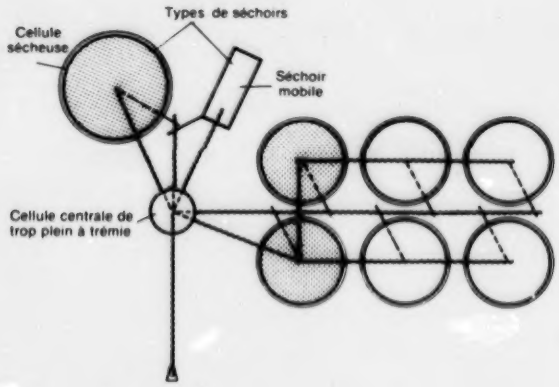


Figure 6. Séchage du grain et système de stockage équipé de vis transporteuses.

séchoir à la cellule de stockage, moyennant un minimum de coûts et d'inconvénients. La figure 6 illustre l'une de ces dispositions faisant appel à des vis sans fin. La figure 7 en présente une autre avec un élévateur à godets. Les deux systèmes peuvent être construits par étapes, à partir de quelques cellules seulement. On peut se procurer les plans et devis détaillés de ces aménagements et d'autres

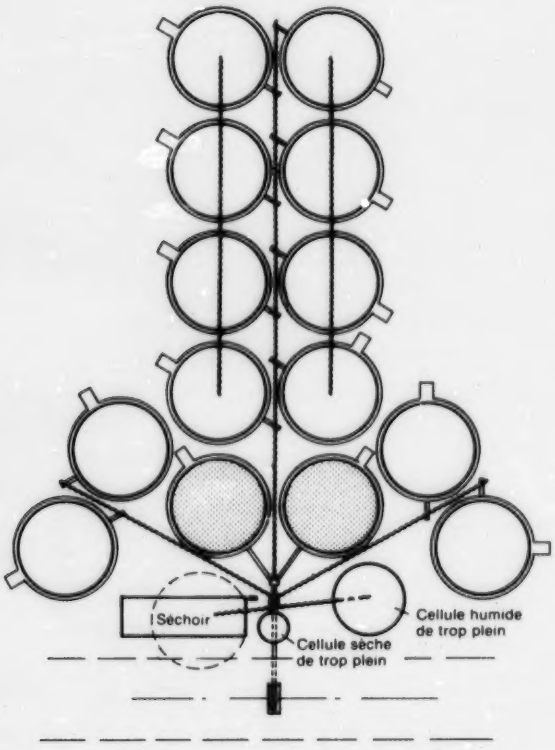


Figure 7. Séchage du grain et système de stockage équipé d'un élévateur à godets.

agencements auprès de l'ingénieur agricole provincial ou d'experts-conseils en génie rural. Il est également possible d'obtenir des données sur le matériel et d'autres informations sur la planification dans la publication intitulée *Systèmes de manutention et de stockage des grains* auprès de la Direction des communications d'Agriculture Canada ou de l'ingénieur local.

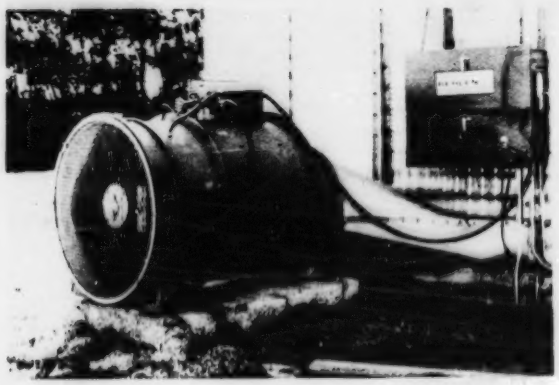
Dans la planification du système, il faut tenir compte du risque d'incendies qu'entraîne le séchage de certaines cultures (particulièrement le tournesol). On peut toutefois le réduire au minimum par une provision d'eau suffisante et des mesures visant à prévenir la présence de matières combustibles près du séchoir.

TYPES DE SÉCHOIRS

Il existe trois principaux types de séchoirs, soit le séchoir discontinu sans recirculation dans lequel le grain est chargé en lots et demeure immobile dans le séchoir pendant toute la durée du séchage, le type discontinu à recirculation dans lequel le grain est chargé en lots et est constamment mélangé pendant la séchage, et le séchoir continu dans lequel le grain est chargé et déchargé continuellement ou par intermittence. Les trois types de séchoirs sont disponibles pour des cellules statiques et comme séchoirs mobiles. Les caractérisques de séchages des trois types varient selon l'épaisseur de la couche de grain et le débit d'air insufflé. Les parties suivantes étudient les caractéristiques particulières, les méthodes de fonctionnement et les problèmes rattachés à chacun d'eux.

Cellules sécheuses

Les cellules sécheuses (séchoirs à cellules) sont disponibles en plusieurs tailles et capacités et peuvent fonctionner de diverses façons permettant des vitesses de séchage différentes. Elles se caractérisent normalement par des débits d'air plus faibles que les autres types de séchoirs, ce qui ralentit le sechage, mais réduit également la consommation de combustible. Puisque les cellules sécheuses contiennent généralement plus de grain que les autres types, la quantité de grain séché en une journée peut équivaloir à celle d'un séchoir «ultra-rapide». Le séchoir doit pouvoir traiter autant de grains en 24 heures qu'il est possible d'en moissonner au cours d'une journée normale. Les fabricants de matériel de séchage en cellule peuvent fournir des informations détaillées sur les capacités de séchage des cellules des générateurs d'air chaud et du matériel auxiliaire qu'on trouve dans le commerce. L'annexe de la présente publication donne un exemple de ce genre d'information. Une installation de cellules sécheuses peut commencer par un simple procédé en discontinu et lorsqu'une plus grande capacité s'avère nécessaire, des vis de brassage ou un dispositif en continu peuvent y être ajoutés par la suite.



Cellule sécheuse.

Séchage discontinu en cellule

L'installation la moins onéreuse est le séchage discontinu en cellule. Elle se compose essentiellement d'un fond perforé, d'un épandeur à grain, d'un ventilateur et d'un générateur d'air chaud, d'une vis balayeuse et d'une vis de vidange située sous le plancher (figure 8). L'élément générateur-ventilateur est mis en marche dès que le premier lot de grain humide est déversé dans la cellule et il fonctionne aussi longtemps que la teneur en eau moyenne du grain n'a pas atteint le niveau voulu. Des quantités additionnelles de grain sont déversées dans la cellule au fur et à mesure que la récolte progresse. En choisissant une épaisseur de grain appropriée à la capacité du séchoir et à l'humidité du grain, il est possible de sécher un lot en 12 ou 24 heures, ou tout autre délai jugé convenable. La résistance à l'écoulement de l'air de divers lots de grain peut afficher des différences considérables selon la méthode de chargement utilisée, la taille des grains, ainsi que la quantité et le genre de matière étrangère contenue dans le grain. C'est pourquoi les épaisseurs de grain recommandées dans les ouvrages concernant cette question ne doivent servir que de guide. On peut déterminer l'épaisseur idéale pour un lot de grain donné à l'aide d'un manomètre ou d'un tube en U pour mesurer la pression statique qui règne sous le plancher (figure 9). Il est alors possible de déterminer le débit réel d'air en utilisant les diagrammes fournis avec l'élément ventilateur. Des débits d'environ 125 litres par seconde par mètre cube de grain ($L/s^{\bullet}m^3$) sont recommandés pour obtenir un séchage efficace. La figure 10 illustre l'effet de l'épaisseur du grain sur le débit d'air, et ce, pour une capacité-type de ventilateur et de cellule. Les épaisseurs normales pour le blé, l'avoine et l'orge sont de 1,5 à 2 m à des degrés d'humidité inférieurs à 20%, contre 0,5 à 1 m pour le lin et la navette. Des teneurs en eau du grain et des températures plus faibles permettent un accroissement de l'épaisseur du grain (qui entraîne une réduction de l'écoulement de l'air). Par contre, des degrés d'humidité du grain et des températures plus élevées nécessitent des épaisseurs de grain plus faibles, ce qui entraîne un débit d'air plus important.

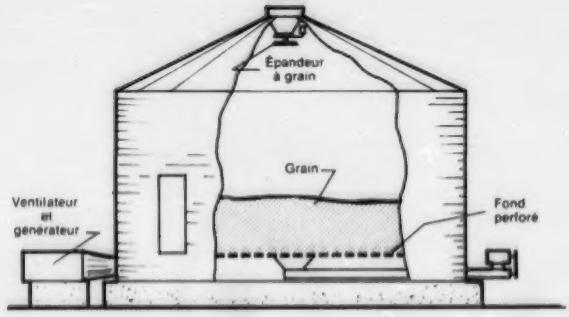


Figure 8. Séchoir discontinu typique en cellule.

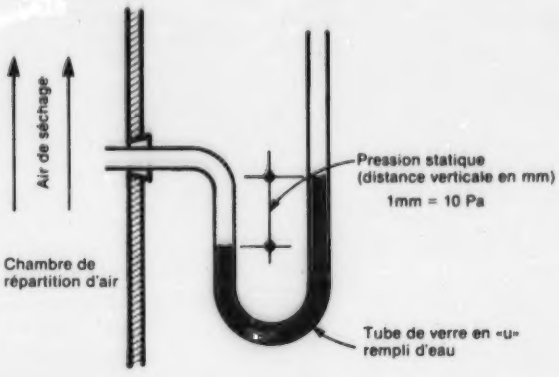

Air de séchage
Pression statique (distance verticale en mm)
1mm = 10 Pa
Chambre de répartition d'air
Tube de verre en «u» rempli d'eau

Figure 9. Mesure de la pression statique à l'aide d'un manomètre.

Il est essentiel que l'épaisseur du grain soit la même sur tout le plancher pour assurer une répartition de l'air et une vitesse de séchage uniformes. Le réglage adéquat de l'épandeur à grain devrait pouvoir minimiser ou éliminer complètement le nivelage manuel.

Le grain situé le plus près du plancher sèchera en premier et le «front de séchage» se déplacera vers le haut au travers du grain. L'emplacement de

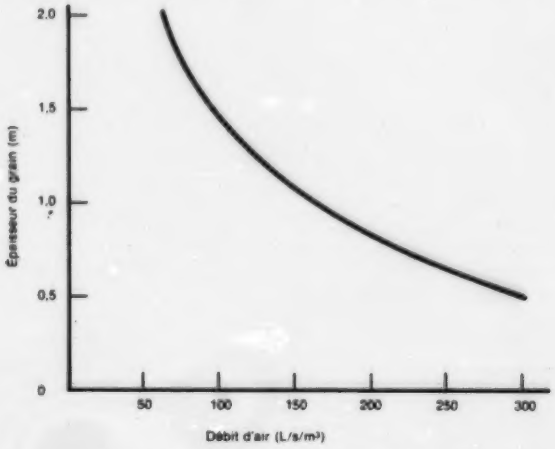


Figure 10. Débit d'air et épaisseur de la couche de blé pour une combinaison ventilateur-cellule d'une capacité donnée.

ce front indiquera la durée additionnelle de séchage nécessaire. L'utilisation de plus fortes températures de l'air accélérera quelque peu le séchage, mais augmentera également le surséchage près du plancher.

La meilleure façon de hâter le séchage dans une cellule sécheuse est de réduire l'épaisseur du grain, ce qui accroît la circulation de l'air et assure un séchage plus uniforme. Il arrive souvent qu'on mette trop de grain dans un lot pour réduire le nombre de vidanges de la cellule, ce qui abaisse considérablement la capacité globale de séchage. La vidange du séchoir et le transvidement du grain dans une cellule de stockage devraient pouvoir s'effectuer le plus rapidement et le plus commodément possible pour permettre de sécher plusieurs petits lots par jour lorsqu'on a besoin d'une plus grande capacité de séchage. La vis balayeuse devrait avoir au moins 150 mm de diamètre et être munie d'une raclette capable de nettoyer la cellule en un seul passage. La vis située sous le plancher de toutes les cellules, sauf celles passablement petites, devrait être d'au moins 200 mm de diamètre et découverte sur une longueur d'au moins 300 mm et de préférence 500 mm à la trémie de chargement. La puissance d'entraînement des vis doit être également suffisante. Advenant le séchage de plusieurs lots en une seule journée, une cellule de trop plein pour grains humides peut s'avérer nécessaire. Une autre solution consiste à disposer l'élément générateur-ventilateur de façon à répondre tout à tour aux besoins de deux cellules. Cette façon de procéder permet de remplir et de vidanger une cellule alors que le contenu de l'autre est en train de sécher. On élimine ainsi les temps d'arrêt du séchoir et le besoin éventuel d'une cellule de trop plein.

Il faut un peu d'expérience pour déterminer quand couper le générateur et commencer à refroidir. On peut généralement arrêter le générateur lorsque le front de séchage se situe à environ 150 mm de la surface du grain. Vu qu'un peu d'humidité sera extraite lors du refroidissement, il ne sera pas nécessaire de sécher complètement le lot à l'air chaud. La quantité d'humidité extraite au cours du refroidissement dépendra dans une large mesure de l'abaissement de la température du grain. Si le grain est refroidi entre 40 et 50°C, il peut perdre de 1 à 2% d'humidité, alors qu'une baisse plus faible de la température donnerait une réduction moindre de l'humidité. Des températures de l'air ambiant très élevées, conjuguées à de fortes humidités relatives, pourraient se traduire par une extraction nulle d'humidité, ou même par un léger accroissement de la teneur en eau du grain si le ventilateur fonctionne trop longtemps.

Le refroidissement peut s'effectuer à l'aide du ventilateur du séchoir ou, si on dispose d'une cellule de stockage ventilée, le grain peut être transvidé chaud dans la cellule et refroidi par un ventilateur. Dans un cas comme dans l'autre, il faut refroidir le grain à 2°C ou à une température de 5°C inférieure à l'air ambiant (selon la plus élevée des deux), pour empêcher toute condensation ou migration de l'humidité. Puisque le grain n'a pas une teneur en eau uniforme lorsqu'on le retire du séchoir et que le mélange n'est pas parfait, il est recommandé de placer dans une cellule de stockage ventilée le grain provenant d'un séchoir discontinu en cellule pour éliminer les variations du taux d'humidité.

Le séchage par temps froid peut entraîner la condensation du dessous du toit ou des parois des cellules sécheuses. Des poches humides peuvent alors se former si on laisse cette eau d'égoutter sur le grain. Pour certains modèles de séchoirs, une ouverture continue peut être pratiquée autour des gouttières de la cellule pour permettre à l'eau de s'écouler sur la face inférieure du toit et de s'égoutter à l'extérieur. Pour tous les types de séchoirs à cellule, l'ouverture d'échappement total devrait être d'au moins 3% de la surface du plancher pour faciliter la sortie de l'air humide. L'addition d'un aspirateur peut s'avérer utile pour accroître la circulation de l'air dans la cellule. Il ne faut pas placer l'aspirateur dans les ouvertures d'échappement existantes, ce qui pourrait provoquer une réduction de l'écoulement de l'air total plutôt qu'un accroissement. Une autre méthode pour réduire la condensation par temps froid est l'isolation du toit de la cellule.

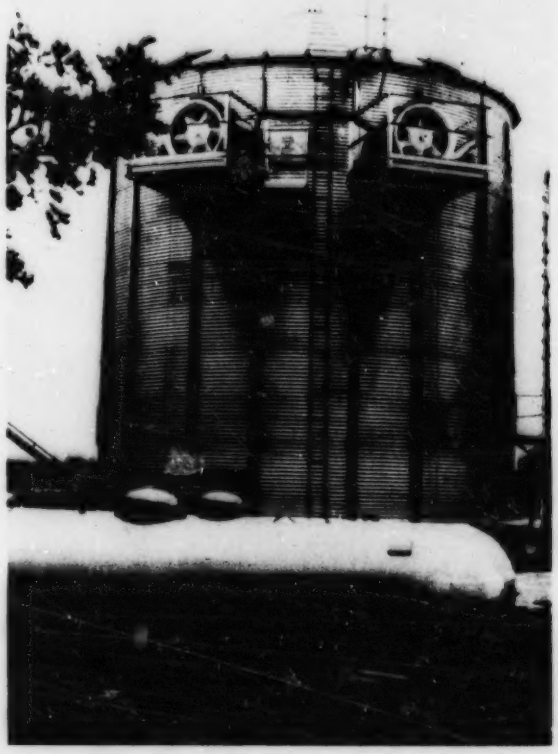
Le séchage d'oléagineux à petites graines peut causer un problème pour certains planchers perforés lorsque les graines obstruent les perforations. En pareil cas, on peut placer une mince couche de grains plus gros (comme l'orge ou l'avoine) sur le plancher et mettre les graines d'oléagineux par dessus. Cette couche de grain joue le rôle d'un aérateur et permet une plus grande circulation d'air tout en empêchant les fuites de petites graines au travers des perforations du plancher. Pour vidanger un lot, la vis racleuse est réglée de façon à laisser les grosses graines au fond de la cellule. Advenant qu'un certain mélange se produise, il est facile de séparer les petites graines des grosses. Les vis racleuses des séchoirs à cellule ne nettoient pas complètement le plancher de telle sorte que ce type de séchoir ne conviendrait probablement pas à un producteur de semences à cause du surcroît de travail nécessaire au nettoyage. Le léger mélange qui se produit lors du passage d'un type de grain à un autre ne pose généralement pas de problème dans le cas des ventes commerciales de grains. Les vis balayeuses tendent à accumuler les matières fines près du centre de la cellule. Aussi faut-il nettoyer périodiquement le plancher perforé pour empêcher une circulation inégale de l'air.

Il existe un certain nombre de variantes de la technique de séchage de base par cellule sécheuse. Un cycle de séchage et de refroidissement en alternance peut servir à réduire à la différence d'humidité entre les parties supérieure et inférieure du lot. On utilise généralement un cycle de 3 à 4 minutes, 75% du temps étant consacré au séchage et 25% au refroidissement. Au cours du refroidissement, la

chaleur du grain situé le plus près de la chambre de répartition se transmet au grain plus froid, ce qui uniformise davantage la température et l'humidité de tout le lot. Par comparaison avec le séchage continu, la différence d'humidité qui existe dans une épaisseur de grain de 1 m n'est environ que la moitié de celle rencontrée dans le séchage cyclique. Il est possible d'utiliser des températures de l'air légèrement plus élevées avec cette méthode pour compenser la réduction du temps de séchage.

Trémies de séchage suspendues

Certains séchoirs à cellule sont munis d'une trémie de séchage conique suspendue, supportée à environ 1 m sous le toit (figure 11). L'élément générateur-ventilateur est monté juste au-dessous de cette trémie. Au fur et à mesure qu'il sèche, le grain tombe sur un plancher perforé où est installé un ventilateur qui refroidit le grain pendant le chargement et le séchage du prochain lot dans la trémie suspendue. Des quantités additionnelles de grain tombent ainsi sur le grain refroidi jusqu'à ce que le séchoir soit rempli au niveau de l'élément générateur. Le grain séché est ensuite transvidé dans une cellule de stockage. Ce système permet de continuer le séchage simultanément au refroidissement et au transfert du grain. La vidange de la trémie de séchage ne prend que 1 minute environ.



Cellule sécheuse munie d'une trémie de séchage suspendue.

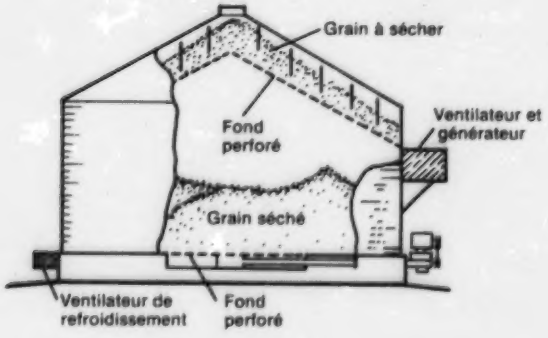


Figure 11. Cellule sécheuse munie d'une trémie de séchage suspendue.

Vis de brassage

On peut ajouter des vis de brassage verticales à une cellule sécheuse pour accroître l'épaisseur du grain acceptable et pour uniformiser davantage le séchage (figure 12). Les vis remontent le grain sec du fond de la cellule dans la masse. En augmentant considérablement la circulation de l'air, ce brassage aère le grain, ce qui permet généralement d'utiliser des températures de séchage légèrement plus élevées et d'accélérer considérablement le séchage (voir l'Annexe). Il est possible d'utiliser des épaisseurs de grain de 2 à 4 m pour le blé, l'avoine ou l'orge, selon leur degré d'humidité initial, contre 1 à 2,5 m pour les petites graines oléagineuses. L'utilisation de vis de brassage peut se solder par un léger accroissement de la consommation de combustible, mais cet inconvénient est compensé par l'augmentation de la vitesse de séchage, la réduction du surséchage au fond de la cellule et l'accroissement de la taille des lots.

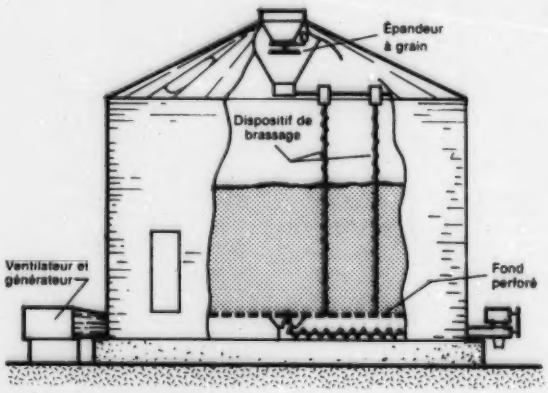


Figure 12. Cellule sécheuse équipée d'un dispositif de brassage à double vis.

Dispositifs de recirculation et de mélange continu des grains

Un certain nombre de dispositifs additionnels peuvent être ajoutés aux cellules sécheuses, soit pour recirculer le grain ou pour assurer un brassage plus ou moins continu dans la cellule. La figure 13 présente une cellule sécheuse équipée comme un séchoir discontinu à recirculation. Le fond perforé est incliné vers le centre pour que le grain s'écoule dans une chambre centrale où il est repris par une vis verticale qui le ramène en surface de la cellule. Le grain est ainsi continuellement mélangé à mesure qu'il sèche et le séchage est plus uniforme que dans un séchoir discontinu sans recirculation.

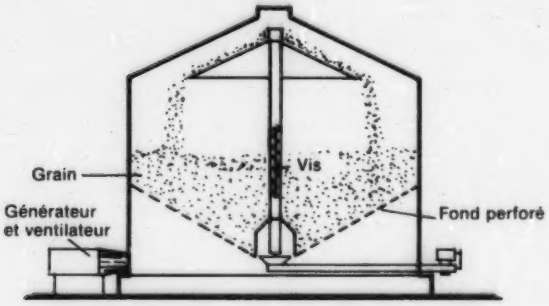


Figure 13. Séchoir discontinu en cellule à recirculation.

La figure 14 montre un autre appareil qui peut servir à recirculer le grain ou à assurer un mélange continu. Une vis racleuse sert à déplacer le grain séché vers le centre du fond perforé d'où il est repris par une vis verticale et remonté vers une vis inclinée qui entraîne le grain vers une cellule de refroidissement. Le fonctionnement de la vis balayeuse est réglé par un thermostat. Le grain peut également être recirculé en le faisant remonter par les vis verticales jusqu'au recirculateur qui remplace alors la vis d'entraînement. Lorsque l'appareil fonctionne en continu, le refroidissement doit s'effectuer ailleurs, de sorte que ce système exige au moins une autre cellule ventilée pour compléter le cycle. On utilise généralement l'aéroséchage ou le séchage combiné avec ce genre de système. Les épaisseurs de grain excessives dans les cellules sécheuses à recirculation et continues réduiront sensiblement les vitesses de séchage. Ces épaisseurs devraient être identiques ou légèrement supérieures à celles utilisées pour le séchage discontinu en cellule.

D'autres techniques, comme le séchage par étapes, sont fréquemment utilisées dans les séchoirs à cellule. Puisque ces méthodes peuvent également être utilisées avec n'importe quel autre type de séchoir, elles seront examinées un peu plus loin (voir la partie intitulée *Séchage par étapes*).

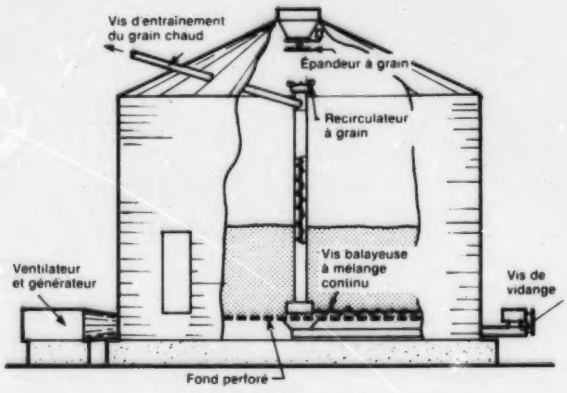


Figure 14. Équipement de séchage continu ou à recirculation en cellule.

Séchoirs mobiles

Séchoirs discontinus

Il existe deux types fondamentaux de séchoirs discontinus mobiles, soit à recirculation et sans recirculation. Ils sont pourvus de roues pour assurer leur mobilité, mais une fois à la ferme, il faut les placer en position définitive et permanente (pour un système de manutention bien planifié) si l'on veut que le séchage soit efficace et pratique. Le séchoir mobile convient généralement aux producteurs qui possèdent des cellules à grain dispersées à divers endroits ou qui ont une clientèle hors de la ferme. Bien que cette façon de procéder réponde à un besoin immédiat en situation d'urgence, le séchoir mobile non assorti d'un système de manutention du grain ne conviendra généralement pas aux situations où le séchage serait avantageux sans être indispensable. Bon nombre des avantages éventuels d'un séchoir seront perdus s'il est peu pratique de l'utiliser sur-le-champ. Le choix d'un séchoir ne doit donc pas se baser essentiellement sur sa mobilité, à moins qu'on puisse le revendre aussitôt que l'urgence s'est résorbée.

La plupart des séchoirs discontinus doivent fonctionner par lots complets ou presque, car si le dessus de la chambre de répartition d'air n'est couverte que de quelques centimètres de grain, la plus grande partie de l'air s'échappera par cet endroit, entraînant des pertes considérables de chaleur.

Lorsque les séchoirs discontinus ne servent à éliminer qu'un faible pourcentage de l'humidité des grains, leur efficacité stratégique en est grandement réduite. Les durées de chargement, de refroidissement et de vidange restent inchangées, mais le temps de chauffage diminue, réduisant ainsi la durée réelle du séchage par rapport à la durée de fonctionnement totale.

Des variations considérables de la vitesse de séchage et du rendement du combustible sont à prévoir pour le séchage discontinu de divers types de grains. Puisque l'épaisseur du grain demeure la

même peu importe la taille des graines, l'écoulement de l'air sera beaucoup plus faible pour les petites graines oléagineuses que pour les gros grains et le maïs, surtout lorsqu'on utilise un ventilateur axial, ce qui entraîne une baisse de l'extraction de l'humidité des cultures comme le lin et le colza, mais également une hausse substantielle du rendement du combustible. Comme l'air demeure en contact avec le grain plus longtemps, il a plus de temps pour extraire l'humidité et est évacué à une humidité relative plus élevée. Dans les séchoirs discontinus, on a observé des rendements de combustible de 25 % plus élevés pour le lin que pour le blé. Une réduction correspondante du taux d'extraction de l'eau s'accompagne généralement d'un accroissement du rendement du combustible.

Dans la comparaison des divers types de séchoirs discontinus, la capacité du ventilateur et la largeur de la colonne sont des facteurs à considérer. Une plus grande capacité du ventilateur et des colonnes plus étroites permettront des vitesses de séchage plus rapides, mais se solderont par de plus faibles rendements du combustible. Le type de ventilateur est également important. Un ventilateur centrifuge produira généralement un débit d'air plus uniforme pour les divers types de grain et sera habituellement plus silencieux qu'un ventilateur axial.

Les régulateurs de température des séchoirs discontinus présentent les mêmes problèmes que ceux des autres séchoirs. Le mauvais fonctionnement des détecteurs et leur mauvais emplacement dans la chambre de répartition d'air chaud et les colonnes à grain, peuvent donner des lectures de température trompeuses. Il faut donc installer des thermomètres additionnels dans la chambre de répartition et dans la colonne à grain adjacente pour réduire ces risques au minimum.

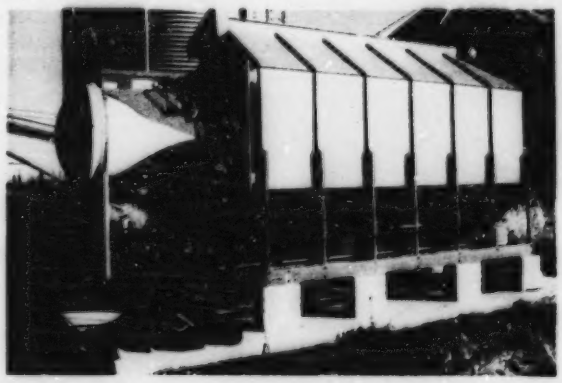
Les échantillons prélevés des séchoirs discontinus à des fins de vérification du degré d'humidité doivent être représentatifs à tous les niveaux de la couche ou de la masse de grain. Un échantillonnage fait à la légère peut entraîner du surséchage ou du sous-séchage.

On peut accélérer sensiblement le séchage et améliorer le rendement du combustible en retirant le grain chaud d'un séchoir discontinu avant qu'il ne soit complètement séché et en utilisant de l'air non chauffé pour compléter le séchage. Cette méthode est examinée plus en détail dans la partie intitulée *Séchage par étapes*.

Les séchoirs discontinus offrent certains avantages par rapport à d'autres types de séchoirs lorsqu'il s'agit de sécher des quantités relativement faibles de divers grains. Le début de l'opération avec un type de grain et le passage à un autre type est relativement facile comparativement à ce qui se passe pour le séchoir continu, d'autant plus que la vidange et le nettoyage sont généralement plus faciles que pour une cellule sécheuse. Cependant, la plupart des séchoirs discontinus se caractérisent par des débits d'air beaucoup plus élevés que ceux des cellules sécheuses et consomment donc beaucoup plus de combustible pour effectuer la même somme de travail.

Le séchoir discontinu doit être équipé d'un matériel de chargement et de vidange de forte capacité pour maintenir les temps morts au minimum. Il est recommandé d'utiliser une vis de 150 mm ou plus pour charger et vidanger le séchoir. Une cellule de trop plein pour grains humides est également indispensable au fonctionnement efficace d'un séchoir discontinu.

Type sans recirculation—Il existe plusieurs variantes de séchoirs discontinus sans recirculation, mais la plupart sont du type complètement fermé à deux colonnes (figure 15). Le grain humide est chargé dans le séchoir par le haut jusqu'à ce qu'il soit rempli et l'air chaud est ensuite pulsé dans le grain tant qu'il n'est pas sec. Le grain restant immobile dans le séchoir, la couche interne devient surséchée alors que la couche externe demeure sous-séchée. Une fois le cycle de chaleur terminé, le grain est refroidi à l'intérieur du séchoir en coupant le générateur d'air chaud, ou est transvidé dans une cellule de ventilation à des fins de refroidissement. À mesure que le grain est vidangé, les grains plus humides et plus secs se mélangent et l'opération donne de bons résultats à condition que des températures acceptables soient utilisées et que le grain soit suffisamment sec et refroidi.



Séchoir discontinu sans recirculation.

Il existe un certain nombre de régulateurs automatiques et de dispositifs de sécurité assurant le bon fonctionnement de ces séchoirs. À mesure que le grain sèche, il se contracte, grâce à l'utilisation d'un manomètre et d'une minuterie, il est alors possible de recharger le séchoir à partir de la cellule de trop plein. Le séchoir peut également être installé de façon à fonctionner à plus haute température pendant la première partie du cycle de séchage si le grain est très humide, et ensuite à plus basse température pour la dernière partie. Un thermostat ou une minuterie peut servir à régler la commande d'arrêt du générateur. La durée du refoidissement peut également se régler à l'aide d'une minuterie et les vis de vidange peuvent être mises en marche

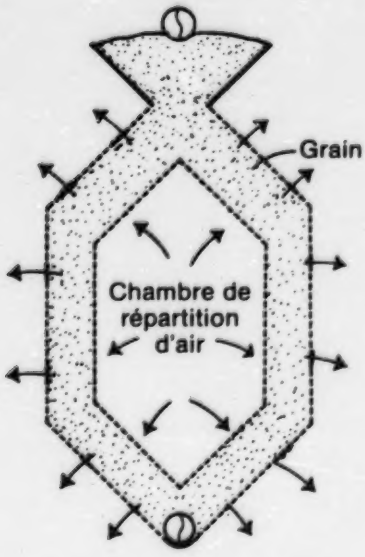


Figure 15. Séchoir discontinu sans recirculation.

automatiquement après le refroidissement. Un séchoir discontinu équipé de tous ces régulateurs est couramment appelé séchoir discontinu automatique. Si tous les appareils sont réglés et fonctionnent correctement, un séchoir discontinu peut charger, sécher, refroidir et vidanger un lot après l'autre sans surveillance ni réglage manuel. À mesure que l'état du grain se modifie, les minuteries et les thermostats doivent être réglés de nouveau et les corrections manuelles sont alors nécessaires en cas de fonctionnement défectueux. Un système de manutention entièrement mécanisé est alors indispensable pour qu'un tel système fonctionne et parvienne à mettre le grain en magasin.

Il existe également d'autres types de séchoirs discontinus sans recirculation, comme ceux montés sur bâtis de remorque ou caisses de camion. Un élément générateur-ventilateur, analogue à celui servant au séchage en cellule, est raccordé à une chambre principale de répartition reliée à de petits conduits à l'intérieur de la caisse du camion. Ces conduits peuvent reposer sur le plancher de la caisse ou y être suspendus à mi-hauteur. Dans ce dernier cas, il faut installer des tuyaux d'échappement sur le plancher de la caisse. La capacité de ces séchoirs varie selon la puissance du ventilateur et du brûleur, et les dimensions de la caisse du camion.

Type à recirculation—Les séchoirs discontinus à recirculation se composent d'une chambre de répartition d'air centrale entourée d'une autre colonne contenant le grain et fonctionnent selon le même principe que les séchoirs discontinus sans recirculation. La principale différence réside dans le fait que le grain est mélangé sans arrêt au cours du séchage et du refroidissement. Le séchoir est généralement de forme circulaire pour recevoir la vis verticale située au centre du séchoir (figure 16). La vis prend le grain au fond du séchoir et le ramène sur le dessus. Elle sert également à vidanger le séchoir. Le grain est recirculé complètement toutes les 15 mn environ. Le mélange sans arrêt du grain permet de sécher le grain plus uniformément que dans un séchoir discontinu sans recirculation. Mais le déplacement permanent du grain par vis peut endommager les graines de certaines espèces (notamment le haricot, le pois et l'orge maltière), en particulier lorsqu'elles sont presque sèches.

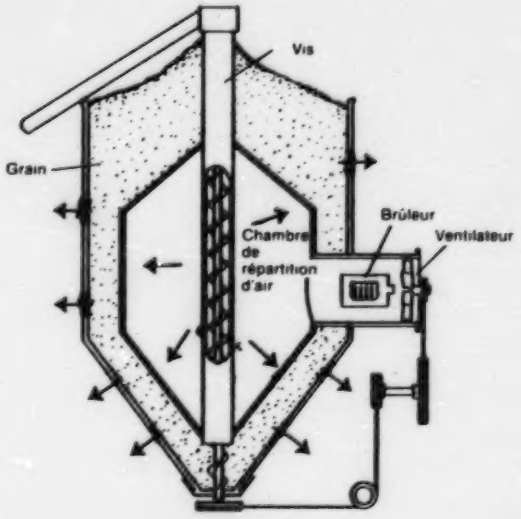


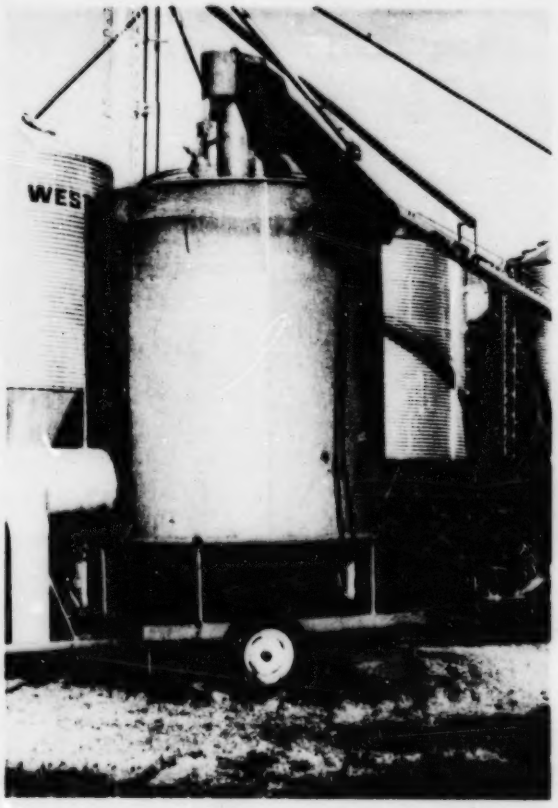
Figure 16. Séchoir discontinu à recirculation.

On peut utiliser des températures de séchage de 20°C supérieures à celles figurant au tableau 4 lorsque le grain est humide, mais lorsqu'il atteint le stade gourd, mieux vaut abaisser les températures aux niveaux recommandés.

Il est également possible d'utiliser les réglages automatiques (comme ceux décrits dans la partie portant sur les séchoirs discontinus sans recirculation) pour les séchoirs discontinus à recirculation, afin de réduire les besoins de main-d'œuvre et de surveillance.

Séchoirs continus

Il existe plusieurs types des séchoirs continus mobiles. L'un des plus courants comporte deux ou quatre colonnes à grain verticales où l'air est insufflé transversalement à l'écoulement du grain (figure 17). Le grain chargé dans une trémie au sommet du séchoir descend des deux côtés de la chambre de répartition d'air chaud, puis de celle d'air froid avant d'être évacué par des transporteurs à vis. La vitesse d'écoulement du grain est généralement réglée par un thermostat situé près de l'extérieur de la colonne à grain. Pour la plupart des séchoirs, on peut également régler manuellement la vitesse de l'écoulement. Le grain n'est pas mélangé pendant la descente, de sorte que le grain situé contre la paroi de la chambre de répartition d'air chaud devient suréché, alors que le grain qui descend vers l'extérieur



Séchoir discontinu à recirculation.

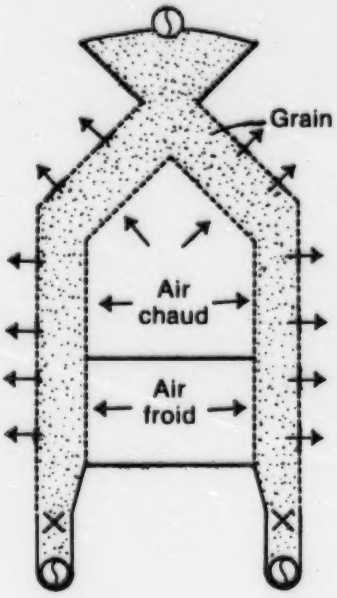


Figure 17. Séchoir continu.

est sous-séché. Les écarts transversaux d'humidité dans une colonne de 300 mm de diamètre peuvent varier de 6 à 12%, alors que la teneur moyenne en eau est celle du grain sec. Le grain se mélange à mesure qu'il est vidangé, ce qui donne un produit acceptable si on a utilisé les températures voulues.

L'écart transversal d'humidité de la colonne de grain dépend de la teneur en eau initiale et finale, de la température de l'air, du débit et de la largeur de la colonne. Si l'on compare deux séchoirs munis respectivement de colonnes de 150 et de 300 mm de diamètre, qui utilisent les mêmes ventilateurs, l'écart moyen d'humidité est d'environ 3,5 et 6% respectivement. L'air se déplace plus rapidement dans la colonne de 150 mm et le débit du ventilateur peut être de 50% plus élevé que dans la colonne de 300 mm. La consommation de combustible augmente également d'environ 50% sans produire beaucoup de différence dans les vitesses de séchage. Une réduction de la puissance du ventilateur ou un accroissement de la largeur de la colonne à grain entraine une meilleure utilisation de la chaleur, mais une augmentation des écarts d'humidité.

Certains séchoirs continus utilisent trois ventilateurs et chambres de répartition, chacun muni de leurs propres thermostats. Le séchoir peut fonctionner avec deux compartiments de séchage et un de refroidissement, ou trois compartiments de séchage. Dans ce dernier cas, le grain sera refroidi dans une cellule ventilée. La partie supérieure fonctionne généralement à plus forte température puisque l'air y est en contact avec le grain le plus humide. Le séchoir peut également fonctionner en régime discontinu. Alors, le grain descend d'un compartiment à la fois au lieu de s'écouler régulièrement.

Certains séchoirs continus aspirent l'air frais au travers du grain pour ensuite le restituer à l'élément brûleur-ventilateur dans la chambre de répartition d'air chaud. Cela permet de récupérer la chaleur par le refroidissement du grain et réduit l'écart de température entre l'air et le grain au fur et à mesure que celui-ci passe des compartiments de séchage à ceux de refroidissement. L'air se charge également d'un peu d'humidité restituée à l'élément brûleur, mais l'opération se solde par un gain net en rendement du combustible. Les balles et les matières fines reprises dans le compartiment de refroidissement s'accumuleront à l'intérieur de la chambre de répartition d'air chaud, ce qui peut nécessiter une vérification et un nettoyage fréquents de la chambre. L'installation de ce genre de séchoir peut le rendre inutilisable dans un système d'aéroséchage (refroidissement lent différé) à cause de l'impossibilité d'affecter tout l'appareil au séchage.

La figure 18 illustre un autre type de séchoir continu. Il comporte également deux colonnes à grain verticales, mais le débit d'air est cette fois parallèle à l'écoulement du grain, ce qui permet d'uniformiser la vitesse du séchage au travers de la colonne à grain puisque le même air y circule sur toute sa largeur et que le grain est mélangé au fur et à mesure qu'il passe dans le séchoir. Vu que cette

installation réduit le risque d'échauffement, il est possible d'utiliser des températures légèrement plus élevées que celles employées dans le séchoir à écoulement transversal de deux compartiments. Ce genre de séchoir ne comporte pas de grilles. Les cultures à petites graines peuvent donc, selon la qualité de la construction, être séchées sans fuite, ce qui facilite le nettoyage. Le séchoir peut fonctionner en régime discontinu, les compartiments supérieur et inférieur recevant alors de l'air chaud ou froid. Cette caractéristique, également disponible sur d'autres types de séchoirs continus, est utile pour le démarrage ou pour le séchage de petits lots.

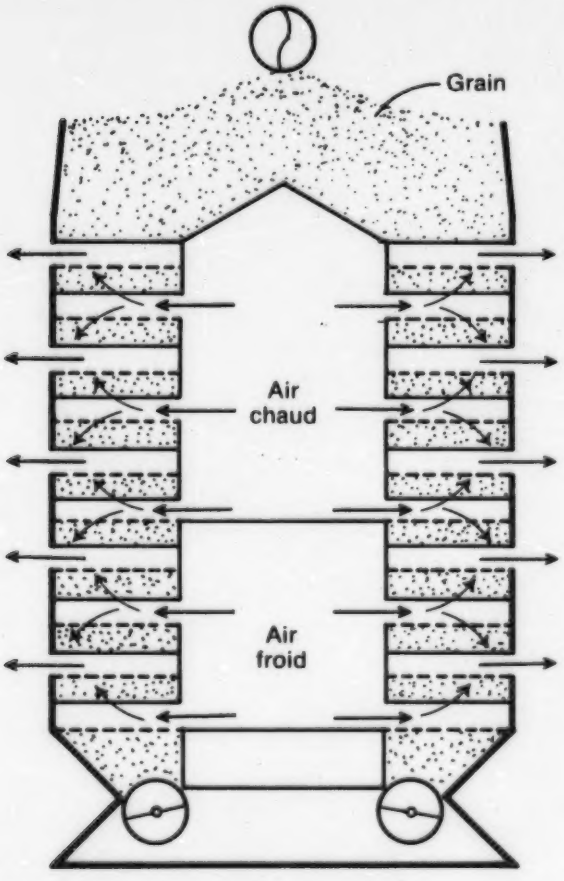


Figure 18. Séchoir continu à courant d'air parallèle.

Les séchoirs continus sont généralement mal adaptés au séchage de petits lots de grains car leur mise en marche et leur vidange sont très inefficaces et que le réglage précis de l'humidité est difficile à faire tant qu'un débit uniforme ne s'est pas établi, ce qui nécessite généralement une couple d'heures. Ils se prêtent donc davantage au séchage de grandes quantités de grains sans nécessiter de fréquentes modifications en passant d'un type de grain à un autre.

Les humidistats d'un séchoir continu subissent souvent les effets du soleil et du vent (voir la partie

Système de séchage composé d'un séchoir continu à débit d'air parallèle.

intitulée *Effets des conditions atmosphériques sur le séchage*). Il se peut que les thermosondes des chambres de répartition d'air chaud soient mal situées ou imprécises. Il faut alors installer d'autres sondes dans la partie la plus chaude de la chambre de répartition pour obtenir une lecture exacte des températures. L'installation de thermosondes dans la colonne à grain près de la chambre de répartition peut également permettre d'éviter les risques d'avarie du grain. Des soupapes modulatrices à gaz devraient permettre le fonctionnement du séchoir à des températures aussi basses que 40°C.

Les débits d'air des séchoirs continus sont généralement du même ordre que ceux des séchoirs discontinus et les deux types de séchoirs ont des rendements du combustible identiques. Les vitesses de séchage varieront en fonction de la taille des graines qui influe sur la vitesse de l'écoulement de l'air. Le recours au refroidissement auxiliaire, à l'aéroséchage ou au séchage combiné peut permettre d'accélérer le séchage.

Les gros séchoirs continus peuvent sécher le grain rapidement pourvu qu'ils ne contiennent que quelques poches d'échauffement, de sorte que les vis et les cellules de trop plein doivent avoir une grande capacité. On recommande alors des vis d'au moins 150 mm de diamètre.

Beaucoup de régulateurs automatiques et de disjoncteurs de sécurité sont disponibles pour ces séchoirs, ce qui permet de les faire fonctionner sans surveillance constante. Mais puisqu'ils doivent être réglés de nouveau à mesure que l'état du grain se modifie et chaque fois que des défectuosités de fonctionnement se produisent, il faut quand même les vérifier fréquemment.

SÉCHAGE PAR ÉTAPES

Aéroséchage (refroidissement lent différé)

L'aéroséchage ou le séchage en deux étapes est un procédé qui fait appel à un séchoir et à un système de ventilation de grande capacité. Il con-

siste à retirer le grain chaud du séchoir à des degrés d'humidité d'environ 2% supérieurs à ceux du grain «sec» et à compléter le séchage et le refroidissement dans une cellule de stockage à des débits d'air de 5 à 10 L/s·m³, au lieu de le refroidir dans le séchoir (figure 19). La ventilation commence 6 à 12 heures après la mise en cellule du grain, ce qui laisse le temps à l'humidité de migrer à l'extérieur des grains, facilitant ainsi son extraction. Ce procédé comporte un certain nombre d'avantages comparativement à la seule utilisation du séchoir à grain:

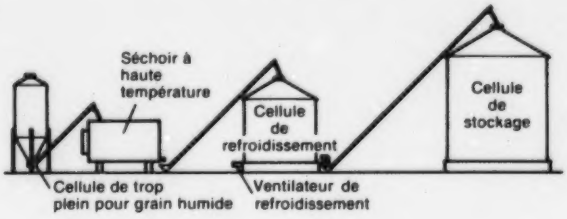

Séchoir à haute température
Cellule de refroidissement
Cellule de stockage
Cellule de trop plein pour grain humide
Ventilateur de refroidissement

Figure 19. Procédé d'aéroséchage (refroidissement lent différé).

- Possibilité d'utiliser des températures de séchage légèrement plus élevées, puisque le séchage du grain ne s'effectue pas entièrement dans le séchoir;
- Suppression du temps de refroidissement nécessaire dans un séchoir discontinu ou à cellule, ou du compartiment de refroidissement dans un séchoir continu. L'utilisation de températures plus élevées, conjuguée à l'élimination du temps de refroidissement et à la réduction de la durée du séchage dans le séchoir, peuvent se traduire par un accroissement d'au moins 50% du rendement de celui-ci;
- Des économies de combustible d'au moins 20% sont courantes. Les derniers points d'humidité étant les plus difficiles et les plus onéreuses à éliminer, leur extraction dans la cellule au moyen de la chaleur contenue dans le grain lui-même permet de réduire considérablement la consommation de combustible nécessaire dans un séchoir à air chaud.
- Amélioration de la qualité du grain par la diminution des risques d'échauffement et de fendillement des grains qu'entraîne le refroidissement rapide du grain chaud.

Les systèmes de ventilation de faible capacité ne conviennent pas au refroidissement lent différé. Des ventilateurs plus puissants et des conduits plus gros sont donc désirables pour obtenir des débits d'air de 5 à 10 L/s·m³. La cellule de refroidissement doit également être pourvue d'un plancher perforé qui servira à éliminer les chutes soudaines et excessives de pression et à produire un débit d'air plus uniforme dans le grain, comparativement à ce qui se passe dans les conduits de ventilation. Ainsi, il n'est plus nécessaire de déplacer à nouveau le grain pour l'entreposage final.

Vu l'extraction considérable d'humidité au cours du refroidissement, sa condensation sur le plafond et les parois de la cellule pose souvent un problème lorsque l'air est pulsé dans le grain. Il est donc recommandé de le transvider de la cellule de refroidissement dans une autre cellule de stockage pour mélanger le grain humide qui reste au grain sec, quand on n'utilise pas de plancher perforé. Le matériel additionnel nécessaire au transfert constitue le principal inconvénient de ce procédé.

Le fait d'insuffler l'air de haut en bas dans le grain permettra de réduire la condensation qui se forme au plafond mais rendra l'aéroséchage moins efficace puisque le premier grain à être séché sera le dernier entré. Une autre façon d'éliminer ce transfert est de commencer à refroidir le grain dès qu'il sort du séchoir, ce qui empêche le gros de la condensation de se former par la circulation d'un courant d'air continu dans les cellules dès le début du remplissage. Le grain peut alors être laissé dans la cellule de refroidissement. L'inconvénient de cette méthode est que certains des avantages reliés au «suintement» sont réduits car le grain a moins de temps pour atteindre sa teneur en eau au point d'équilibre; le refroidissement pourrait donc extraire un peu moins d'humidité (environ 1%) de sorte que le grain devrait rester dans le séchoir un peu plus longtemps.

Séchage combiné

Le séchage combiné est un corollaire au procédé d'aéroséchage. Il sert principalement au séchage du grain très humide (plus de 25 %). On utilise d'abord un séchoir à haute température pour abaisser le degré d'humidité à 19 - 23 %; le grain est ensuite transvidé dans une cellule sécheuse pour compléter le séchage, avec ou sans chaleur d'appoint. Cette méthode permet de tirer parti des applications les plus efficaces des deux types de séchoirs. Le rendement du séchoir à haute température est multiplié par deux ou trois par rapport à son utilisation pour le séchage complet du grain. Les besoins en carburant sont ainsi réduits d'environ 50%, selon la quantité d'humidité extraite de chaque stade d'opération. On note également une amélioration de la qualité du grain par rapport à celle obtenue par le séchage effectué entièrement à haute température.

Les débits d'air utilisés dans la partie séchage en cellule du séchage combiné varient de 10 à 25 L/s·m³. Les planchers doivent être perforés. Le grain peut passer par le processus d'aéroséchage à «suintement» avant le séchage final en cellule ou il peut aller directement du séchoir à haute température à la cellule sécheuse pour assurer son refroidissement immédiat et son séchage final.

Le choix entre l'aéroséchage ou le séchage combiné dépendra de la quantité de grains et de leur teneur en eau initiale, du coût de l'énergie et de l'immobilisation de capitaux nécessaires. Lorsqu'il s'agit de faibles quantités de grains et que la teneur en eau est relativement faible, l'immobilisation nécessaire au séchage combiné ne serait pas justifiée, mais de plus fortes teneurs en eau initiales, des quantités de grain et des coûts de l'énergie plus élevés rendent l'aéroséchage et le séchage combiné plus attrayants. Cependant, toutes les cellules d'une capacité de 100 m^3 ou davantage devraient être pourvues de conduits de ventilation, même pour le grain ramené du champ à l'état sec. On recommande la construction de conduits d'aération d'un diamètre suffisant pour recevoir des débits d'air d'au moins 10 $L/s \cdot m^3$ de façon à permettre le choix d'un type quelconque de séchoir par étapes. Du fait qu'il assure le plus grand nombre de choix possible, mieux vaut songer sérieusement au plancher perforé dans la planification d'une grande cellule de stockage. Tout système de stockage du grain devrait comporter au moins une cellule à plancher perforé, et de préférence deux ou trois.

VENTILATION

La ventilation consiste à faire circuler de petites quantités (environ 1 à 2 $L/s \cdot m^3$) d'air non chauffé dans une masse de grain sec, ou presque, pour la refroidir ou uniformiser la température et le taux d'humidité dans la cellule. Ce procédé sert à abaisser et à équilibrer la température du grain et à empêcher la migration d'humidité dans les cellules (figure 5), ainsi qu'à refroidir le grain chaud provenant du champ. De pareilles quantités d'air ne réalisent que très peu de séchage, à moins que le temps ne soit très sec et que le ventilateur ne fonctionne longtemps. Le grain stocké à divers degrés d'humidité peut bénéficier de la ventilation qui contribuera à la migration de l'eau du grain plus humide au grain plus sec. Mais il faut des débits d'air plus élevés (7 à 13 $L/s \cdot m^3$) pour maintenir le grain humide en bon état en attendant de le sécher. Si les températures extérieures deviennent très chaudes, même ces débits d'air ne pourront pas assurer un stockage sans risque. Le grain humide doit être aéré continuellement jusqu'à ce qu'il soit sec ou que sa température soit abaissée à près de 0°C, en particulier la nuit lorsque les températures de l'air sont généralement plus basses. Les ventilateurs ne doivent normalement fonctionner que lorsque l'humidité relative est inférieure à 75%. Lorsqu'on recourt à la ventilation pour refroidir du grain chaud et sec provenant d'un séchoir, les ventilateurs doivent fonctionner continuellement tant et aussi longtemps que la température du grain n'aura pas été abaissée de 5°C en deçà de la température moyenne de l'air extérieure, ce qui, au débit de 1 $L/s \cdot m^3$, peut prendre jusqu'à une semaine. Il faut faire en sorte d'éviter le surséchage du grain par ventilation excessive au cours d'une période de temps très sec.

Il importe de choisir des conduits, des planchers perforés et des ventilateurs de dimensions suffisantes dans l'installation d'un système de ventilation. On peut obtenir des informations et de l'aide sur la conception des séchoirs auprès de l'ingénieur en génie rural local.

VITESSE ET EFFICACITÉ DU SÉCHAGE

La conception et le fonctionnement des séchoirs à grains sont souvent un compromis entre la vitesse de séchage et le rendement du combustible. L'accroissement du débit d'air accélère le séchage, mais également la consommation de combustible. L'augmentation de l'épaisseur de la couche de grain ou de la largeur de la colonne accroît le rendement du combustible, mais ralentit le séchage. Le rendement du combustible et la vitesse du séchage varieront considérablement lorsque la largeur de la colonne ou l'épaisseur du grain demeurent fixes. Les petites graines présentent une plus grande résistance à l'écoulement de l'air et réduisent de ce fait le rendement de la soufflerie, ce qui augmente la quantité d'eau absorbée par l'air avant son évacuation du séchoir. Le rendement du combustible sera donc plus élevé pour le séchage du lin que pour celui du blé ou de l'orge. La réduction de la vitesse du ventilateur des séchoirs discontinus et continus permet d'accroître le rendement du combustible, mais réduit également la vitesse du séchage.

Plusieurs méthodes contribuent à améliorer le rendement du combustible et à accélérer le séchage. Par exemple, l'élimination du surséchage permettra d'obtenir ces deux avantages et de réduire en plus les risques d'avarie du grain. Plus le grain devient sec, plus il faut de temps et de combustible pour en extraire l'humidité.

Le tableau 5 rend compte de l'effet de la teneur en eau initiale sur les vitesses de séchage et les rendements du combustible.

L'enlèvement des petites graines de mauvaises herbes et des grains brisés permettra également d'accélérer les vitesses de séchage et de réduire la durée totale du séchage. Le passage du grain par un prénettoyeur ou une vis à tamis avant le séchage peut également contribuer à accélérer le séchage et à réduire les variations de sa vitesse.

Les différences dans la température initiale du grain influent légèrement sur la vitesse du séchage et la consommation de combustible. Un écart de 30°C se traduit par une différence d'environ 10% en temps et en carburant. Les variations de tempé-

rature se produisent très lentement dans le grain à moins que de l'air n'y soit insufflé ou qu'il n'y ait échauffement.

Les températures de l'air extérieures ont un effet considérable sur la consommation de combustible. Pour une élévation de température de 25°C (p. ex. air ambiant à 15°C et séchoir à 40°C), une variation de 1°C dans la température de l'air ambiant modifie la consommation de combustible de 4%. Pour une élévation de température de 50°C, une variation de 1°C de la température extérieure modifie cette consommation de 2%. La température de l'air extérieure n'influe pas sur les vitesses de séchage pourvu que les températures du séchoir et du grain demeurent constantes.

Le passage de l'air de refroidissement d'un séchoir continu par le brûleur et dans le compartement de chauffage entraîne une nette amélioration du rendement du combustible. La chaleur ainsi récupérée du processus de refroidissement compense largement l'humidité absorbée et permet des économies de combustible de l'orde de 10 à 15%. Le ventilateur doit être légèrement plus puissant pour faire passer la même quantité d'air par le séchoir.

Capacité des séchoirs

La capacité des séchoirs à grains s'exprime le mieux en termes de vitesse d'extraction de l'eau, comme en kilogrammes à l'heure (kg/h). Les séchoirs utilisés dans les fermes des Prairies se caractérisent par des vitesses d'extraction très variées, soit de moins de 100 kg/h à plus de 1000 kg/h. Le tableau 6 présente les taux d'extraction typiques d'humidité et les consommations de combustible applicables à certains séchoirs de ferme courants pour le séchage du blé qui passe de 18 à 14% d'humidité, à une température ambiante de 15°C.

Pour le blé, l'avoine et l'orge, les taux d'extraction de l'humidité sont à peu près identiques lorsqu'on utilise les mêmes températures de séchage. Toutefois, l'extraction d'humidité du lin et du colza est d'environ 20% plus lente aux mêmes températures. Étant donné que le blé est généralement séché à une température un peu inférieure à celle du lin, de l'avoine et de l'orge, les vitesses de séchage réelles (en kg/h) sont pratiquement les mêmes pour le blé et le lin, et environ 15% plus élevées pour l'avoine et l'orge.

TABLEAU 5. EFFET DE LA TENEUR EN EAU INITIALE SUR LES VITESSES DE SÉCHAGE ET LES RENDEMENTS DU COMBUSTIBLE

Séchoir	Grain	Teneur en eau initiale (%)	Extraction de l'humidité (kg d'eau/h)	Consommation de combustible (kJ*/kg d'eau)
A	Blé	18,0	480	3050
		16,4	425	3200
B	Maïs	26,2	530	3550
		22,9	510	3700
		18,7	465	4200
C	Maïs	26,6	1110	3000
		22,7	850	3400

*kilojoules (en supposant une production de chaleur nette de 20 000 kJ par litre de propane).

TABLEAU 6. TAUX D'EXTRACTION TYPIQUES D'HUMIDITÉ ET CONSOMMATION DE COMBUSTIBLE

Séchoir	Extraction de l'eau (kg/h)	Vitesse de séchage (t/h)	Consommation de combustible (kJ*/kg)
Discontinu à recirculation (13 m^3)	125	2,5	4000
Discontinu sans recirculation (4,5 m^3)	125	2,5	4500
Continu à plancher perforé (16 m^2)	300	6,0	4000
Cellule à trémie suspendue de 9,1 m de diamètre	500	10,0	3000

*kilojoules

Le tableau 7 donne la quantité d'eau qu'il faut extraire du grain pour le sécher.

Un séchoir pouvant extraire 200 kg/h d'eau sécherait donc environ 2 t/h de grains en le faisant passer de 22 à 14% d'humidité.

Efficacité des séchoirs et coûts

Les rendements du combustible se mesurent en quantité d'énergie nécessaire pour extraire l'eau du grain. Les unités sont des kilojoules d'énergie par kilogramme (kJ/kg) d'eau extraite. Un litre de propane produisant environ 20 000 kJ d'énergie constitue un bon rendement du brûleur. Un kilowatt-heure (kWh) d'électricité équivaut à 3600 kJ. Les rendements typiques du combustible pour les séchoirs continus et discontinus sont d'environ 4000 kJ/kg pour le blé, l'avoine, l'orge et le maïs. Certains séchoirs à débits d'air élevés peuvent nécessiter jusqu'à 6000 kJ pour extraire 1 kg d'eau. Les cellules sécheuses consomment généralement environ 3000 kJ/kg.

Le tableau 8 présente les coûts de combustible nécessaires à l'extraction de l'eau pour des séchoirs à rendements énergétiques variés et par rapport à divers prix du propane.

L'exemple suivant détermine ce qu'il en coûte pour sécher 1 tonne de grains au moyen d'un séchoir à rendement de 3500 kJ/kg:

Grain ramené de 22 à 14% d'humidité
Prix du combustible de 20c./L
Consommation de combustible de 3500 kJ/kg
Coût du combustible = 103 kg/t (tableau 7) x 3.50c./kg (tableau 8) = $3.60/t

En supposant que le séchoir de l'exemple ci-dessus consommait 5000 kJ/kg, le coût du combustible serait de $5.15 la tonne. Si 200 tonnes de grains sont séchées chaque année, la différence dans le coût total du combustible ne serait que de $310 par année. Ce montant serait nécessaire pour absorber tous les coûts additionnels d'immobilisation (s'il y a lieu) du séchoir plus efficace. Lorsqu'un séchoir sert à sécher de grandes quantités de grains, le rendement du combustible devient un facteur plus important. Un séchoir plus onéreux ne consomme pas nécessairement moins de combustible, car certains séchoirs dont le prix d'achat est plutôt faible se révèlent également des plus efficaces en termes de combustible.

Une fois le séchoir acheté, les frais fixes (intérêt et amortissement) sont engagés, peu importe si le séchoir est utilisé ou non. La décision d'utiliser ou non le séchoir au cours d'une année donnée devrait donc s'appuyer principalement sur les frais d'exploitation plutôt que sur le coût total.

Lorsqu'on prévoit un accroissement substantiel du séchage du grain, il faut attacher une importance particulière à l'addition d'un procédé d'aéroséchage ou de séchage combiné plutôt que d'accroître la capacité du séchoir. En plus d'accroître la vitesse de séchage, cette façon de procéder permet de réduire les coûts du combustible et d'améliorer la qualité du grain.

INCENDIES DANS LES SÉCHOIRS

Peu importe la culture séchée, des incendies peuvent se déclencher dans les séchoirs lorsque la poussière et les résidus s'accumulent dans l'entourage immédiat du brûleur. Toutefois, les incendies

TABLEAU 7. QUANTITÉ D'EAU EXTRAITE DANS LE SÉCHAGE DU GRAIN

Teneur en eau finale	Nombre de kg/t extraits du grain pour une teneur en eau initiale de							
	16%	18%	20%	22%	24%	26%	28%	30%
14%	24	49	75	103	132	162	194	229
10%	71	98	125	154	184	—	—	—

*tonne de grain à teneur en eau finale.

TABLEAU 8. COÛT DU COMBUSTIBLE NÉCESSAIRE À L'EXTRACTION DE L'EAU (cents/kg)

Consommation de combustible (kJ/kg)	Prix du combustible (cents/L)			
	18	20	22	24
2500	2.25	2.50	2.75	3.00
3000	2.70	3.00	3.30	3.60
3500	3.15	3.50	3.85	4.20
4000	3.60	4.00	4.40	4.80
4500	4.05	4.50	4.95	5.40
5000	4.50	5.00	5.50	6.00
5500	4.95	5.50	6.05	6.60
6000	5.40	6.00	6.60	7.20

ne sont pas chose courante, sauf lorsqu'il s'agit de tournesol. Les graines de tournesol sont souvent recouvertes de pruine qui est libérée au cours du processus de séchage (en particulier dans les séchoirs discontinus à recirculation). Si cette matière s'accumule dans le ventilateur et le brûleur, elle peut s'enflammer et déclencher un incendie dans le séchoir. Tout ce qui peut réduire les risques d'accumulation de cette matière dans le brûleur contribuera à diminuer les dangers d'incendie. Cela comprend habituellement le nettoyage destiné à enlever toute particule légère ou fine de la graine avant le séchage et l'installation de déflecteurs pour empêcher les particules en suspension d'être attirées vers le brûleur. On ne devrait pas laisser la poussière et la pruine s'accumuler sur les parois et d'autres parties du séchoir.

En s'assurant que les graines ne soient pas surséchées et que la température de l'air insufflé ne soit pas trop élevée, on peut également contribuer à atténuer les risques d'incendie. Les graines chaudes et surséchées s'enflamment plus facilement lorsque la pruine brûle. Comme telles, les fortes températures de l'air ne causent pas d'incendies dans le séchage du tournesol. Même à des températures de séchage inférieures à 40°C, des incendies se sont déjà déclenchés après que les particules de pruine accumulées dans le brûleur eurent pris feu.

Même si toutes les précautions nécessaires sont prises, on recommande de demeurer près du séchoir en marche et de surveiller l'apparition des premiers signes d'incendie lorsqu'il s'agit de tournesol et d'autres cultures, en particulier vers la fin du cycle de séchage. Lorsqu'un incendie se déclenche, couper le générateur et le ventilateur. L'incendie peut s'éteindre de lui-même dans un séchoir à recirculation si la vis reste en marche, mais il faut souvent utiliser de l'eau pour y arriver.

Le séchage de colza peut également donner lieu à un certain nombre d'incendies. Il faut alors suivre des précautions semblables à celles recommandées pour le séchage du tournesol.

Presque chaque automne amène une vague de jours chauds et secs permettant de sécher le grain sans utiliser la chaleur. Le séchage de tournesol ou de colza sans chauffage peut alors s'avérer très économique et éliminer tout risque d'incendie provoqué par le brûleur.

ANNEXE

Tables de séchage (cellules sécheuses)
(Hommage de Westeel Rosco)

LIN, MOUTARDE ET COLZA (Teneur en eau finale de 10 %)

Type de séchoir	Teneur en eau initiale (%)	Lin			Moutarde ou colza		
		Épaisseur (m)	Volume (m^3)	Durée (h)	Épaisseur (m)	Volume (m^3)	Durée (h)
Cellules de 5,8 m de diamètre			40°C			40°C	
Moteur de 3,75 kW	22	0,45	12	19	0,6	16	17
	20	0,6	16	21	0,9	24	21
	18	0,9	24	23	1,2	32	26
	16	0,9	24	21	1,35	36	25
	14	0,9	24	17	1,5	40	22
Moteur de 5,74 kW	22	0,6	16	19	0,9	24	19
	20	0,6	16	17	1,05	28	20,5
	18	0,9	24	21	1,2	32	21
	16	0,9	24	19	1,5	40	25
	14	0,9	24	13	1,8	48	23
Moteur de 9,3 kW	22	0,9	24	21	1,05	28	21
	20	0,9	24	19	1,2	32	20
	18	0,9	24	18	1,5	40	23
	16	1,2*	32	21	1,8	48	21
	14	1,2*	32	17	2,1	56	19
Cellules de 5,8 m de diamètre (munies de dispositifs de brassage à double vis)			55°C			45°C	
Moteur de 3,75 kW	22	0,9	24	23	1,5	40	36
	20	0,9	24	23	1,8	48	32
	18	0,9	24	22	2,25*	60	30
	16	1,2*	32	19	2,25*	60	45
	14	1,2*	32	15	2,25*	60	20
Moteur de 5,4 kW	22	0,9	24	23	1,5	40	32
	20	0,9	24	21	1,8	48	28
	18	1,2	32	24	2,4	64	30
	16	1,2	32	18	2,7*	72	34
	14	1,2	32	14	2,7*	72	32

(à suivre)

LIN, MOUTARDE ET COLZA (Teneur en eau finale de 10 %) (suite)

Type de séchoir	Teneur en eau initiale (%)	Lin			Moutarde ou colza		
		Épaisseur (m)	Volume (m^3)	Durée (h)	Épaisseur (m)	Volume (m^3)	Durée (h)
Moteur de 9,3 kW	22	1,35	36	25	1,65	44	31
	20	1,35	36	24	1,95	52	30
	18	1,5	40	23	2,4	64	26
	16	1,8*	48	21	3,0*	80	29
	14	1,8*	48	19	3,0*	80	22

*Indique l'épaisseur maximale recommandée à cause des restrictions imposées par la pression statique du ventilateur.

BLÉ, ORGE ET AVOINE (Teneur en eau finale de 14 %)

Type de séchoir	Teneur en eau initiale (%)	Blé			Orge ou avoine		
		Épaisseur (m)	Volume (m^3)	Durée (h)	Épaisseur (m)	Volume (m^3)	Durée (h)
Production: ½ journée							
Cellules de 5,8 m de diamètre			55°C			55°C	
Moteur de 3,75 kW	24	0,6	16	7,5	0,9	24	10,5
	22	0,9	24	9,5	1,2	32	11,5
	20	1,2	32	10,0	1,5	40	11,5
	18	1,5	40	9,5	1,8	48	10,0
	16	1,6	48	8,0	2,1	56	7,0
Moteur de 5,74 kW	24	0,6	16	6,5	0,9	24	9,5
	22	0,9	24	8,5	1,2	32	10,0
	20	1,2	32	8,0	1,5	40	10,0
	18	1,5	40	8,5	2,1	56	9,5
	16	2,1	56	8,0	2,4	64	8,0
Moteur de 9,3 kW	24	0,9	24	9,0	1,2	32	10,0
	22	1,2	32	9,5	1,5	40	9,0
	20	1,5	40	9,0	1,8	48	9,5
	18	1,8	48	9,0	2,1	56	8,5
	16	2,4	64	7,5	2,7	72	7,0
Production: 1 journée							
Cellules de 5,8 m de diamètre			40°C			40°C	
Moteur de 3,75 kW	24	0,9	24	19	1,2	32	23
	22	1,2	32	21	1,5	40	22
	20	1,5	40	22	1,8	48	22

(à suivre)

BLÉ, ORGE ET AVOINE (Teneur en eau finale de 14 %) (suite)

Type de séchoir	Teneur en eau initiale (%)	Blé			Orge ou avoine		
		Épaisseur (m)	Volume (m^3)	Durée (h)	Épaisseur (m)	Volume (m^3)	Durée (h)
Production: 1 journée							
Cellules de 5,8 m de diamètre			40°C			40°C	
Moteur de 3,75 kW	18	2,1	56	21	2,7	72	25
	16	3,0	80	18	3,6	96	18
Moteur de 5,4 kW	24	1,05	28	21	1,2	32	21
	22	1,35	36	23	1,5	40	20
	20	1,65	44	22	2,1	56	23
	18	2,25	60	21	2,7	72	22
	16	3,3	80	17	3,9	104	18
Moteur de 9,3 kW	24	1,2	32	23	1,35	36	21
	22	1,5	40	24	1,65	44	22
	20	2,1	56	23	2,4	64	24
	18	2,7	72	25	3,0	80	25
	16	3,6	96	18	4,2	112	19

BLÉ, ORGE ET AVOINE (munis de dispositifs de brassage à double vis; teneur en eau finale de 14 %)

Type de séchoir	Teneur en eau initiale (%)	Blé			Orge ou avoine		
		Épaisseur (m)	Volume (m^3)	Durée (h)	Épaisseur (m)	Volume (m^3)	Durée (h)
Cellules de 5,8 m de diamètre			55°C			55°C	
Moteur de 3,75 kW	24	1,65	44	23	1,9	50	23
	22	1,9	51	22	2,25	60	22
	20	2,4	64	21	2,8	75	22
	18	3,1	82	22	3,7	99	22
	16	3,3	88	15	4,35	116	17
Moteur de 5,4 kW	24	1,8	48	22	2,1	56	24
	22	2,1	56	21	2,25	60	22
	20	2,55	68	21	3,05	82	21
	18	3,3	88	21	4,05	108	22
	16	3,9	104	16	4,35	116	15
Moteur de 9,3 kW	24	1,95	52	23	2,3	61	24
	22	2,3	61	22	2,7	72	22
	20	2,75	74	21	3,3	88	22
	18	3,6	95	20	4,3	114	22
	16	4,35	116	17	4,35	116	14

MAÏS ÉGRENÉ (Teneur en eau finale de 13 %)

Type de séchoir	Teneur en eau initiale (%)	60°C		75°C (utilisation d'un dispositif de brassage)	
		Volume (m^3)	Épaisseur (m)	Volume (m^3)	Épaisseur (m)
Cellules de 5,8 m de diamètre					
Moteur de 5,4 kW	30	35*	1,3	43	1,6
	25	45	1,7	62	2,3
	20	70	2,65	96	3,6
Moteur de 9,3 kW	30	35	1,3	49	1,8
	25	48	1,8	66	2,5
	20	78	2,9	107	4,0

*Fondé sur 21 heures de séchage. Dans tous les autres cas, sur 18 heures de séchage et 2 heures de refroidissement. À des températures de séchage supérieures à 60 °C, il faut utiliser un dispositif de brassage. L'utiliser à des températures d'au plus 60 °C pour uniformiser davantage le séchage. Les vitesses de séchage se fondent sur une température de 10 °C et une humidité relative de 65 %. Ces vitesses peuvent varier dans d'autres conditions.

Les ministères de l'Agriculture fédéral et du Manitoba n'ont pas vérifié les vitesses de séchage indiquées et ne peuvent donc pas être tenus responsables des écarts par rapport aux chiffres donnés.

REMERCIEMENTS

L'auteur tient à remercier les personnes suivantes pour l'aide qu'elles lui ont apportée dans la préparation de la présente publication:

Lorne Parker, Sainte-Agathe (Manitoba)
Franklin Voth, Manitou (Manitoba)
Grant Henry, Pioneer Grain Co. Ltd., Winnipeg (Manitoba)
Alan Roberts, Ag-tech Consultants, Elie (Manitoba)
Murray Green, ministère de l'Agriculture de l'Alberta
Paul Barlott, ministère de l'Agriculture de l'Alberta
Bob Brad, ministère de l'Agriculture de la Saskatchewan
Roy Button, ministère de l'Agriculture de la Saskatchewan
Tony Protz, ministère de l'Agriculture de la Saskatchewan
Paul Gebhardt, ministère de l'Agriculture de la Saskatchewan
Eric Moysey, Université de la Saskatchewan
Bill Muir, Université du Manitoba
Eldon Norum, Université de la Saskatchewan